I. VAN DAM

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

PARIS & LIÈGE

CH. BÉRANGER ÉDITEUR





LA

TÉLÉGRAPHIE

SANS FIL

LA

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

PAR

I. VAN DAM
Fonctionnaire du service technique des Télégraphes
de l'État Néerlandais.

AVEC QUATRE-VINGT-DIX-SEPT FIGURES DANS LE TEXTE

Deuxième édition, augmentée et mise à jour.

PARIS ET LIÉGE
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
SUCCESSEUR DE BAUDRY ET Cie
PARIS, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
LIÉGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1908

ERRATA

Page 5,	ligne 7 du haut,	*au lieu de*	Be^{mt},	*lisez* $Be^{m_1 t}$.
— 6,	— 9 du bas,	—	$\cos + t\beta$	— $\cos \beta t +$.
— 20,	— 3 du bas,	—	$Be \sin$	— $Be^{\rho_1 t} \sin$.
— 39,	— 4 du bas,	—	$= e^{\delta t}$	— $e^{\delta T}$.

A

Monsieur J. A. SNIJDERS C. J. ZN.

Professeur à la Haute-École technique à Delft.

I. VAN DAM

PRÉFACE

Le présent ouvrage a pour objet d'exposer les divers systèmes et appareils actuellement le plus employés dans la télégraphie sans fil. Nous avons passé sous silence les méthodes qui, en ce moment, n'ont qu'un intérêt purement historique, sans toutefois avoir perdu leur importance pour l'étude du développement de la nouvelle science. Nous citons e. a. les essais effectués par M. WILKINGS en Angleterre, MM. BOUCHOT et DOUNAT en France, MM. RATHENEAU et STRECKER en Allemagne, M. BONELLI en Italie, M. LINDSAY en Écosse, etc., essais basés sur une transmission par conduction ou induction ; cependant ces méthodes ont été presque complètement abandonnées pour les systèmes de télégraphie sans fil par ondes électromagnétiques.

L'application de rayons ultra-violets, méthode fondée sur la découverte du célèbre professeur HERTZ qui a constaté que ces rayons facilitent la production d'étincelles entre deux conducteurs possédant des charges de signes contraires, et la méthode basée sur la propriété que possède le sélénium de présenter une grande résistance électrique lorsqu'il est placé dans l'obscurité, tandis qu'il obtient une résistance minime lorsqu'il est soumis à l'action des rayons lumineux, ces méthodes, qui ont l'avantage de pouvoir lancer des signaux dans une seule direction quoique à des distances assez faibles, n'ont pas encore pu être appliquées à des distances plus considérables.

Harlem, août 1905.

I. VAN DAM

PRÉFACE

DE LA DEUXIÈME ÉDITION

Dans cette nouvelle édition j'ai eu l'occasion de mettre à profit les bienveillantes observations qui m'ont été suggérées et d'introduire les nouvelles méthodes et recherches qui ont paru dans les deux dernières années.

Tout en conservant le plan général de l'édition précédente, on notera les changements suivants qu'on y a apportés :

D'abord un nouveau chapitre a été ajouté : « Amortissement des ondes électriques », à cause de la grande importance de l'amortissement au point de vue de la syntonisation et de la téléphonie sans fil au moyen d'ondes non amorties.

Dans le chapitre de la « Propagation des ondes électriques » on a insisté davantage sur les champs électrique et magnétique qui se produisent avec un oscillateur rectiligne de Hertz et avec une antenne, ainsi que sur le rayonnement de l'énergie dans l'espace.

Parmi les « Récepteurs d'ondes électriques » on en a fait figurer quelques-uns qui avaient été omis dans la première édition.

Le chapitre de la « Syntonisation » traite en détail l'influence du degré d'accouplement sur la longueur d'onde et sur l'amortissement des deux ondes rayonnées d'une antenne, eu égard à la syntonisation.

En considération de la découverte de M. Poulsen, qui a fait faire d'importants progrès à la téléphonie sans fil, il a été nécessaire d'ouvrir un nouveau chapitre aux « Ondes non amorties », et d'y consacrer quelques pages à la théorie susdite.

Parmi les « Ondomètres » on a mentionné l'appareil de M. Fleming et quant au chapitre de l' « Émission d'ondes dans une direction déterminée » on a dû le refaire entièrement, parce que les méthodes indiquées dans la première édition n'ont, presque aucune, été appliquées dans la pratique, et aussi parce que entre temps MM. Marconi, Braun et Fleming, entre autres, ont publié de nouvelles recherches à ce sujet.

L'ancien chapitre de l' « Appareillage » a été intitulé « Appareils et Instruments de mesure » ; on y a décrit quelques-uns de ces instruments et on y a insisté davantage sur l'un ou l'autre de ces appareils.

Le chapitre « Dispositifs de quelques systèmes » a subi d'importantes modifications, parce que nous avons dû tenir compte des améliorations qui ont été apportées à ces systèmes.

On a étendu davantage le chapitre des « Applications de la télégraphie sans fil », tandis qu'on a dû entièrement remanier et traiter plus largement le chapitre relatif à la réglementation légale, par suite surtout de la Conférence internationale de Berlin. On a supprimé le protocole final de la conférence préliminaire pour faire place aux règlements de la « Convention radiotélégraphique internationale ».

Espérons que les techniciens, qui ont fait si bon accueil à la précédente édition réserveront la même faveur à celle-ci et qu'ils justifieront ainsi les modifications et les augmentations que nous y avons apportées.

Harlem, août 1907.

I. VAN DAM

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE V

SYNTONISATION

CHAPITRE VI

ONDES NON AMORTIES

CHAPITRE VII

APPAREILS POUR MESURER LA LONGUEUR D'ONDE DES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE VIII

ÉMISSION D'ONDES DANS UNE DIRECTION DÉTERMINÉE

CHAPITRE IX

APPAREILS ET INSTRUMENTS DE MESURE

CHAPITRE X

DISPOSITIFS DE QUELQUES SYSTÈMES

CHAPITRE XI

APPLICATIONS DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

CHAPITRE XII

RÉGLEMENTATION LÉGALE DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

LA

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

INTRODUCTION

Si la télégraphie sans fil repose sur l'émission et la réception d'ondes électriques et si la grande importance qu'elle a acquise dans ces dernières années doit être attribuée en grande partie à la découverte d'appareils beaucoup plus sensibles que ceux dont se servait par exemple Hertz, la méthode de télégraphier sans fils de communication n'était pas nouvelle.

Nous avons en vue la télégraphie électromagnétique d'induction qui est basée sur ce phénomène : des courants seront induits dans une bobine, quand l'intensité du courant sera modifiée dans une autre bobine, placée à une certaine distance de la première.

Ce phénomène fut découvert en 1831 par Faraday et indépendamment de celui-ci par Henry. Ce qui est moins connu, c'est que Morse, l'inventeur de l'appareil enregistreur applicable à la télégraphie par fils, fut le premier qui fit des expériences avec la télégraphie sans fil.

En 1842 il réussit à transmettre un télégramme, sans fil de connexion entre le poste de départ et le poste d'arrivée, par-dessus un canal de 25 mètres de largeur et Gale, qui travaillait sous Morse, réussit à augmenter cette distance, en envoyant une dépêche par-dessus le Susquehanna. Dans les expériences plus connues de Preece, qui installa en 1882 une communication par télégraphie sans fil entre l'Angleterre et l'île de Wight, le dispositif était en principe le même que celui employé par Morse. Sur

les deux côtes, sur deux points différents, on immergea dans la mer des plaques de terre, reliées par un fil conducteur ; dans l'un des fils on intercala un appareil à courant alternatif et dans l'autre un appareil récepteur. La conduction par l'eau, outre l'induction, jouait ici un rôle très important.

L'avantage que Preece avait sur ses prédécesseurs, c'est qu'entre temps le téléphone avait été inventé, appareil dont on se sert beaucoup dans la télégraphie sans fil.

Ce qui prouve que cette méthode de transmettre des dépêches n'était pas nouvelle, c'est qu'en 1854 déjà Lindsay fit des expériences de la même manière en Ecosse ; en 1859 il fit une conférence au « British Association » sur « telegraphing without wires ». Cette conférence fut certainement la première qui fut faite sur la télégraphie sans fil.

La télégraphie électromagnétique d'induction a passé cependant à l'arrière-plan lorsqu'en 1886 Hertz, alors professeur à Carlsruhe, réussit à démontrer l'existence d'ondes électriques.

Le célèbre physicien anglais J. Clerk Maxwell, élève de Faraday, repoussait, comme son maître, la théorie de l'action à distance; il admettait à la suite de Huygens, que l'univers est rempli d'une substance extrêmement subtile, appelée éther, présente partout entre les molécules des corps. Dans sa théorie de l'ondulation, Huygens explique les phénomènes de la lumière par une perturbation de l'équilibre de cette substance, tandis que Maxwell, dans sa théorie électromagnétique de la lumière montrait que la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques était la même que celle des ondes lumineuses.

Maxwell exposa les idées de Faraday mathématiquement, et, au moyen de ses équations, on put expliquer bien des phénomènes.

Maxwell savait déjà qu'il existait des ondes électriques, il connaissait leur vitesse de propagation, il savait qu'elles se propagent plus lentement dans l'eau que dans l'air, qu'elles étaient en partie absorbées, en partie réfléchies par des conducteurs et qu'elles présentaient le phénomène de l'interférence. Tout cela, et d'autres choses encore, était connu plus ou moins exactement, mais ce fut Hertz qui en montra expérimentalement la justesse.

Ses expériences démontrèrent brillamment que les idées de

Faraday et de Maxwell étaient fondées ; ses expériences prouvèrent que le milieu dans lequel les ondes électromagnétiques et les ondes lumineuses se propagent était le même, que leur vitesse de propagation était la même, que les rayons lumineux et les rayons électriques étaient identiques. La seule différence existait dans le nombre des vibrations par seconde ; ainsi les rayons rouges du spectre ont une fréquence de 400×10^{12} tandis que la plus haute fréquence des ondes électromagnétiques est bien inférieure.

Il peut paraître curieux que la théorie des électrons a ramené partiellement l'ancienne théorie de l'électricité. La théorie de Maxwell, d'après laquelle les ondes électromagnétiques se propagent dans un milieu élastique susceptible de changer de forme, continua bien à faire loi. Toutefois l'idée, qu'il existe dans toute matière des particules extrêmement petites chargées d'électricité, amena à la conclusion que tous les phénomènes magnétiques, électriques et même optiques doivent être attribués à la dissociation et au mouvement de ces particules électriques qu'on a appelées électrons.

La décharge d'un condensateur, dans certains cas, est oscillatoire et Hertz se servit de cette propriété ; la décharge alors ne consiste pas en un mouvement de l'électricité dans une direction, mais en une décharge principale dans une direction, suivie d'une série de décharges alternatives, l'une plus faible que la précédente, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. En 1842, le professeur Henry avait déjà fixé l'attention là-dessus et en 1847 Helmholtz fit connaître ce phénomène dans son célèbre livre, intitulé : « Erhaltung der Kraft ». Feddersen prouva l'existence de ce phénomène par des expériences décisives. W. Thomson (Lord Kelvin), fit le premier la preuve mathématique et donna l'équation qui peut être considérée comme la base théorétique de la télégraphie sans fil. Cette équation peut être déduite ainsi :

Considérons un condensateur chargé, qui est déchargé par un fil; soit la capacité du condensateur $= C$, la quantité d'électricité avant le commencement de la décharge $= Q$ et R et L la résistance ohmique et le coefficient de self-induction du fil ; nous admettons que L est constant et que la capacité du fil peut être négligée en regard de C.

Si nous nommons, au temps t, la charge du condensateur q, l'intensité du courant i, et la différence de potentiel entre les deux armatures v, nous aurons :

$$iR = v - L\frac{di}{dt},$$

et au temps t la charge sera :

$$q = Cv,$$

le courant de décharge

$$i = -\frac{dq}{dt}.$$

De la première équation on tire :

$$iRC = q - CL\frac{di}{dt},$$

et en rapport avec la troisième équation :

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{Rdq}{Ldt} + \frac{q}{CL} = o.$$

Par l'intégration de cette équation différentielle on trouvera la charge comme fonction du temps. Supposons :

$$q = e^{mt}$$

on a :

$$\frac{dq}{dt} = mq,$$

et

$$\frac{d^2q}{dt^2} = m^2q,$$

et quand on substitue ces valeurs dans l'équation, on aura :

$$q\left[m^2 + \frac{R}{L}m + \frac{1}{CL}\right] = o.$$

Cette relation devant être satisfaite quel que soit q, on a pour m :

$$m^2 + \frac{R}{L}m + \frac{1}{CL} = o,$$

d'où les deux valeurs suivantes pour m :

$$m_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL}},$$

$$m_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{CL}}.$$

De l'équation différentielle à résoudre, on a maintenant deux intégrales particulières :

$$q = e^{m_1 t}$$

et

$$q = e^{m_2 t},$$

ainsi la solution générale sera :

$$q = Ae^{m_1 t} + Be^{m t}$$

ou :

$$q = e^{-\frac{R}{2L}t}\left[Ae^{+t\sqrt{\frac{R^2}{4L^2}-\frac{1}{CL}}} + Be^{-t\sqrt{\frac{R^2}{4L^2}-\frac{1}{CL}}}\right]$$

Les constantes d'intégration A et B peuvent être déterminées comme suit :

pour

$$t = 0$$

il faut

$$q = Q, i = o \quad \text{et} \quad \frac{dq}{dt} = o,$$

de sorte que de l'expression de q il suit :

$$A + B = Q$$

et de :

$$\frac{dq}{dt} = m_1 Ae^{m_1 t} + m_2 Be^{m_2 t}$$

on aura :

$$m_1 A + m_2 B = o,$$

ce qui donne :

$$A = -\frac{m_2}{m_1 - m_2} Q,$$

et

$$B = +\frac{m_1}{m_1 - m_2} Q,$$

ou m_1 et m_2 ont des valeurs exprimées plus haut.

De la solution de q il suit que, suivant la grandeur des facteurs sous le signe radical, on peut distinguer deux cas :

1° Les racines sont réelles :

$$\frac{R^2}{4L^2} > \frac{1}{CL} \text{ ou } R^2 > \frac{4L}{C}:$$

le courant de décharge a lieu dans une direction constante et la charge décroît avec le temps ;

2° Les racines sont imaginaires :

$$\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{CL} \text{ ou } R^2 < \frac{4L}{C};$$

Posons :

$$\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}} = \beta \text{ où } \beta \text{ est une grandeur réelle,}$$

on aura :

$$m_1 = -\frac{R}{2L} + j\beta,$$

$$m_2 = -\frac{R}{2L} - j\beta$$

et

$$q = e^{-\frac{R}{2L}t} \left[Ae^{j\beta t} + Be^{-j\beta t}\right]$$

et comme :

$$e^{j\beta t} = \cos \beta t + j \sin \beta t,$$

et

$$e^{-j\beta t} = \cos \beta t - j \sin \beta t,$$

on a après substitution :

$$q = e^{-\frac{R}{2L}t} \left[(A + B) \cos \beta t + j (A - B) \sin \beta t\right].$$

On a : $A + B = Q$ et on trouvera $A - B$ en substituant dans les expressions de A et de B les valeurs de m_1 et m_2; on aura donc :

$$A - B = \frac{R}{2L} \frac{1}{j\beta} Q,$$

ainsi :

$$q = Qe^{-\frac{R}{2L}t} \left[\cos + t\beta \frac{R}{2L\beta} \sin \beta t\right],$$

où le facteur entre crochets est une valeur réelle. De ce facteur il résulte que l'on a une décharge périodique variable. Le condensateur, après la première décharge, reprend une charge inverse, suivie d'une seconde décharge etc., ainsi une décharge oscillatoire. Les décharges maxima successives ont des valeurs qui diminuent, quand t augmente, comme il s'ensuit de la fonction exponentielle. Ensuite il résulte du terme sinus, qu'après un temps $t = \frac{2\pi}{\beta}$, en négligeant l'amortissement, la valeur de q redevient

la même, de sorte que la période T sera exprimée par :

$$T = \frac{2\pi}{\beta},$$

ou :

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Comme dans cette formule la capacité est indiquée en farads, et que $\frac{1}{CL}$ est donc très grand, le terme $\frac{R^2}{4L^2}$ peut être négligé en regard de $\frac{1}{CL}$ ce qui donne :

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

Cette formule, nommée ordinairement formule de Thomson, est celle qui joue un rôle si important dans la télégraphie sans fil et plus particulièrement dans la syntonisation.

La décharge d'un condensateur dans un circuit fermé présente une difficulté : la décharge oscillante sera de très courte durée et par conséquent difficile à étudier.

Hertz cependant s'y prit d'une autre manière ; il relia les extrémités de l'enroulement secondaire d'une bobine d'induction, à deux boulons métalliques, qui furent placés en regard et à une petite distance l'un de l'autre ; on fixa un fil tendu droit, à chacun de ces boulons ; à l'extrémité du fil on plaça un plus grand boulon. Dans ce cas la décharge a lieu entre les petits boulons et comme les grands boulons se rechargent toujours, on obtient ainsi une série de décharges alternatives. Dans ses premières expériences avec cet appareil, nommé par lui un oscillateur, il obtint des oscillations dont la durée en secondes était de $1,77 \times 10^{-8}$, ce qui correspond à une longueur d'onde de $1,77 \times 10^{-8} \times 3 \times 10^{10}$ cm. = 5,3 m. Poûr pouvoir contrôler les propriétés des ondes il se servit d'un résonateur, c'est-à-dire d'un fil recourbé ou rectangulaire avec une petite coupure ; aux extrémités de ce fil il disposa deux petits boulons. Avec cet appareil, nommé l'œil électrique par Lord Kelvin, il démontra l'existence de rayons électriques, appelés maintenant ondes hertziennes. Si l'on plaçait cet appareil dans le champ créé par l'oscillateur, de petites étin-

celles jaillissaient entre les boulons, lesquelles dans certaines circonstances avaient un caractère oscillatoire et produisaient dans le fil une série de décharges alternatives. Si la période de ces décharges est égale à la période propre de l'oscillateur, les décharges atteindront un maximum d'intensité, parce qu'il y a résonance; de là le nom de « résonateur » que Hertz a donné à son appareil.

A l'aide du résonateur, il montra que, quand des ondes électriques se propagent dans un diélectrique, la force électrique et la force magnétique sont perpendiculaires l'une à l'autre et dans un plan, normal à la direction de la propagation des ondes. Comme en un point quelconque le maximum d'intensité du champ électrostatique correspond au minimum d'intensité du champ électromagnétique et réciproquement, il existe donc entre ces deux champs une différence de phase de 90°. Maxwell l'avait déjà démontré mathématiquement.

En plaçant le résonateur dans différentes positions il put étudier séparément les ondes électrostatiques et électromagnétiques; il définit leur vitesse expérimentalement et trouva que, pour toutes deux, elle était égale à la vitesse de propagation de la lumière.

Hertz constata la réflexion des ondes électriques sur des surfaces conductrices; avec un réflecteur parabolique il montra que ces ondes obéissent aux mêmes lois que les ondes lumineuses; avec un prisme en asphalte, il prouva la réfraction; de plus il indiqua le phénomène de polarisation et d'interférence des ondes électriques.

Nous avons déjà dit que Morse fit les premières expériences avec la télégraphie sans fil; mais ce qui est remarquable, c'est que Hughes, l'inventeur du télégraphe imprimeur, en 1879, ainsi longtemps avant la découverte de Hertz, observa non seulement l'existence d'ondes électriques, mais il connaissait déjà la méthode cohéreur.

En 1880 il invita le président de la « Royal Society » et d'autres savants à assister à ses expériences. On lui fit observer que ses expériences pouvaient être expliquées par des phénomènes d'induction électromagnétique bien connus, et que l'on ne pouvait admettre avec lui, qu'il s'agissait ici d'ondes électriques. Cette observation le découragea tellement qu'il résolut de se livrer à de nouvelles expériences avant toute publication. C'est Hertz qui

devait publier l'existence de ces ondes. Hughes arrivait trop tard avec ses recherches et il eut le chagrin de constater que d'autres, indépendamment de lui, refaisaient ses découvertes.

Les expériences de Hertz furent recommencées par bien des savants; M. Righi par exemple démontra la diffraction, la réflexion totale et la double réfraction des ondes électriques ; il fit ses expériences sur des ondes de 25 millimètres de longueur; MM. Rose et Lebedew réussirent à produire des ondes de 6 millimètres ; ces petites longueurs avaient l'avantage de permettre d'étudier les propriétés des ondes dans un laboratoire.

M. Branly, en 1890, découvrit qu'un tube, rempli de limaille métallique subissait une diminution de résistance électrique sous l'action des ondes électriques; cet appareil était beaucoup plus sensible que le résonateur de Hertz. M. Lodge, le premier, montra le grand avantage que l'on pouvait tirer de ces petits tubes comme indicateurs des ondes électriques; le nom de « cohéreur » vient de lui.

Dans la pratique, il était avant tout nécessaire que le cohéreur, une fois actionné par les ondes, fût ramené à son état primitif. Pour en arriver là, M. Lodge monta le cohéreur dans un circuit avec une pile et un relais; à l'état normal il ne passe pratiquement pas de courant par ce circuit, vu que la résistance du cohéreur est très grande; si le cohéreur devient conducteur, le relais est excité, son armature attirée et comme à l'extrémité de celle-ci on a fixé un frappeur, placé au-dessus du cohéreur, il frappera ce dernier, qui ainsi est ramené à son état normal.

Nous devons encore mentionner les expériences effectuées par M. Popoff[1] à Cronstadt en 1895 ; ces expériences avaient pour but d'étudier l'électricité atmosphérique. M. Popoff se servit du tube de Branly, appliqua le dispositif indiqué par M. Lodge et représenté dans la figure 1.

Dans cette figure, B est le cohéreur, E une batterie de piles, R un relais et A un fil qui est relié à un paratonnerre ou à un fil tendu verticalement le long d'un mât. Si le relais R est actionné, le contact P est fermé et, par le contact D, il se forme un circuit

[1] *Ann. Télégraphiques*, 1898, p. 119.

fermé dans lequel sont introduits un trembleur T et un relais F. Ce relais attirera alors son armature, en interrompant le contact D; le frappeur K donnera un signal et en frappant le cohéreur, le ramènera à l'état initial. Comme la figure l'indique, une des électrodes du cohéreur était en contact avec l'antenne et l'autre était mise à la terre. Afin de pouvoir recevoir les signaux on

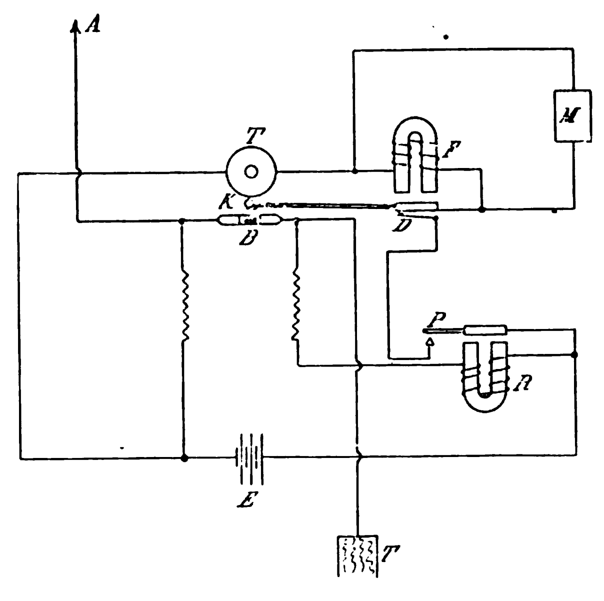


Fig. 1.

monta en dérivation avec le relais F un enregistreur M. Remplaçons cet appareil par un appareil Morse et supposons à une certaine distance un oscillateur, d'où sont émises, durant un temps plus ou moins court, des ondes correspondant aux signaux Morse, ces ondes pourront être enregistrées par l'appareil Morse au poste récepteur.

M. Marconi dut ses premiers succès à ce dispositif en lançant des signaux à des distances de ± 20 km. et quoique d'autres eussent déjà appliqué une antenne pour la réception des ondes hertziennes, il est certain que M. Marconi fut le premier qui appliqua un pareil fil pour l'émission des ondes. Dans la station transmettrice il relia une des boules de l'oscillateur à ce fil, tandis que l'autre boule fut mise à la terre. Ce dispositif a reçu le nom

de Marconi et est représenté dans la figure 2. En abaissant le manipulateur S pendant un temps plus ou moins court, une décharge oscillatoire plus ou moins courte aura lieu dans le circuit secondaire, formé de l'enroulement secondaire de la bobine de Ruhmkorff R, de l'antenne A, de l'oscillateur V et de la terre T ; l'antenne et la terre peuvent être considérées comme les deux armatures d'un condensateur dont le diélectrique est formé

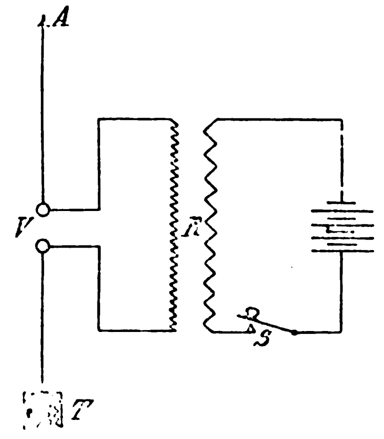


Fig. 2.

par la coupure entre les boules V. Des oscillations électriques prennent naissance dans l'antenne et le mouvement vibratoire est communiqué à l'éther ambiant; les ondes électriques pourront être reçues dans une autre station, au moyen d'une antenne pareille.

Par un plus grand perfectionnement des différents appareils, en se servant d'un circuit fermé, dans lequel les oscillations furent engendrées, avec l'application du principe de syntonisation, etc., ce qui fera le sujet des chapitres suivants, la méthode fut successivement perfectionnée, la distance de communication agrandie et la télégraphie sans fil en arriva au point où elle est aujourd'hui.

CHAPITRE PREMIER

ONDES ÉLECTRIQUES DANS LES ANTENNES

Oscillateur de Hertz. — Pour l'oscillateur dont Hertz se servit dans ses expériences, on relia les électrodes P_1 et P_2 (fig. 3) d'une bobine de Ruhmkorff, à deux petites boules de laiton a_1 et a_2 de 3 centimètres de diamètre, auxquelles on fixa les fils $a_1 b_1$ et $a_2 b_2$. A leur extrémité on plaça deux sphères de zinc b_1 et b_2 de 30 centimètres de diamètre, lesquelles devaient servir à augmenter la capacité du condensateur : b_2 a_2 — coupure — a_1 b_1 ; quand le potentiel a atteint une telle valeur qu'une étincelle éclate entre a_1 et a_2 il se produit un mouvement oscillatoire de l'électricité de b_2 par a_2 a_1 à b_1 et inversement. Comme la fréquence est très grande et que la self-induction de l'enroulement secondaire de la bobine est également très grande, la décharge a lieu comme si les fils de connexion a_1 P_1 et a_2 P_2 n'existaient pas ; la grande self-induction forme un obstacle insurmontable pour les courants de haute fréquence.

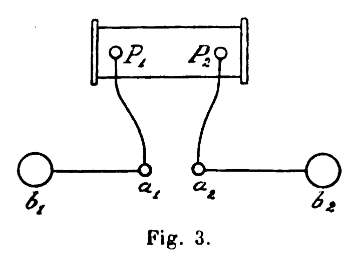


Fig. 3.

Hertz, avec cet appareil, montra que lorsqu'une étincelle jaillit, des ondes électriques sont émises dans l'espace ambiant ; si l'on veut arriver à ce que cette émission se fasse régulièrement, il faut que le condensateur b_2 a_2 — coupure — a_1 b_1 après chaque décharge, soit rechargé à un potentiel, nécessaire au jaillissement de l'étincelle. Pendant le temps qu'une décharge a lieu, une série d'ondes se propage dans l'espace avec une amplitude toujours décroissante. Lorsque l'onde A aurait été émise (fig. 4) et par une

seconde décharge l'onde B, l'onde A aura déjà parcouru un grand chemin. Si la charge du condensateur se fait par exemple 500 fois par seconde, le temps entre deux décharges successives est

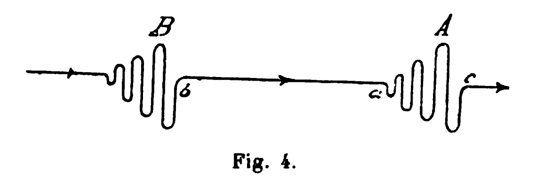


Fig. 4.

de 1/500 de seconde, ainsi le chemin parcouru *ab* ou la distance entre deux ondes = 1/500 × 300 000 km. = 600 km. Par suite de la durée extrêmement courte de la décharge qui se mesure en millionièmes de seconde, la distance *ac* sera très minime par rapport à *ab*.

Oscillateur de Marconi. — L'oscillateur que M. Marconi employa dans ses premières expériences est en principe le même que celui

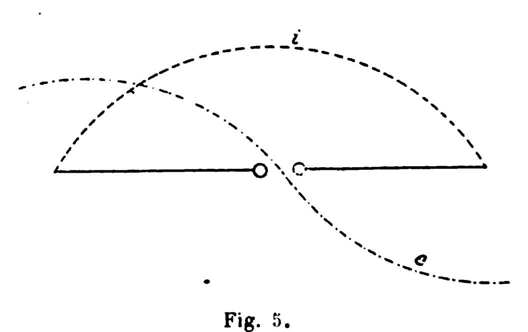


Fig. 5.

de Hertz. Seulement il remplaça les deux sphères b_1 et b_2 (fig. 3) par deux longs fils, tendus verticalement. Les vibrations électriques, qui prennent naissance dans ces fils dépendent de la fréquence et de la manière dont se produit l'étincelle ; l'onde présente sur la longueur du fil une forme caractéristique et la vibration doit être attribuée à l'apparition de l'étincelle. Les deux fils ne forment pas un circuit fermé avec les boules de l'oscillateur et c'est pourquoi il est possible que, à un moment déterminé, l'intensité du courant ait une valeur différente en différents points du fil. En intercalant un ampèremètre thermique dans ce fil, on peut y déter-

miner l'intensité du courant ; on remarquera alors que le maximum est entre les boules de l'oscillateur et que l'intensité à l'extrémité du fil est de O. Représentée graphiquement, la courbe de l'intensité du courant, en différentes parties du fil, se présente sous une forme sinusoïdale (fig. 5) ; au milieu se trouve un ventre de courant et aux extrémités un nœud de courant (courbe *i*). En étudiant les tensions en différents points à l'aide d'un micromètre à étincelles, on remarque que la tension entre les boules de l'oscillateur est de O et aux extrémités du fil un maximum; représentée graphiquement nous aurons la courbe *e*, avec un nœud de tension au milieu et un ventre de tension aux extrémités.

Ondes stationnaires. — Par réflection aux extrémités, des ondes stationnaires se sont produites dans le fil ci-dessus et Hertz,

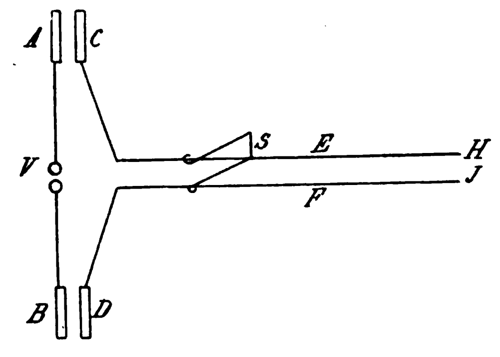


Fig. 6.

à l'aide du résonateur, réussit à démontrer leur présence. M. Lecher[1] fit cette constatation d'une manière intéressante indiquée dans la figure 6.

L'oscillateur est muni de deux boulons métalliques, entre lesquels éclate l'étincelle V, et de deux lames A et B reliées aux boules au moyen de fils. En regard de ces lames sont disposées parallèlement et à petite distance deux autres C et D reliées aux deux fils parallèles E et F. On peut déplacer un pont S sur ces fils de façon à former un circuit fermé : ACSDBVA dans lequel sont compris deux condensateurs AC et BD, car les deux lames

[1] *Wiedem. Ann. Band* 41, 1890, S. 850.

placées tout près l'une de l'autre peuvent être considérées comme tels. Ces condensateurs peuvent être chargés en reliant les boules aux électrodes d'une bobine d'induction. Pendant la décharge il peut se présenter dans le circuit fermé des décharges oscillantes, dont on peut faire varier la période en déplaçant le pont S le long des fils parallèles. Le fil conducteur ESF peut maintenant servir de résonateur, si les dimensions sont bien choisies; l'apparition de la résonance fut constatée par M. Lecher en plaçant sur les extrémités HJ un tube de verre, rempli d'un gaz raréfié. Lorsque les étincelles jaillissent entre les boules de l'oscillateur et que l'on déplace le tube de verre le long des fils E et F, on trouvera une place où l'éclat dans le tube est le plus grand, ce qui indique que la période des oscillations dans le circuit est égale à la période propre du fil conducteur ESF. La longueur d'onde sera donc égale à deux fois la longueur du fil ESF. Si on laisse le tube à sa place et que l'on déplace le pont S dans la direction de l'oscillateur, l'éclat disparaît pour reparaître à une certaine place du pont mobile, disparaître de nouveau en plaçant plus loin le pont et ainsi de suite. Dans les fils E et F d'autres ondes stationnaires sont engendrées et en certains points se sont produits des nœuds, dont on peut facilement trouver la place au moyen d'un deuxième pont mobile. Ce deuxième pont se trouve-t-il sur la place des nœuds, l'éclat du tube ne subit aucune variation, tandis qu'il s'affaiblit ou disparaît, si le pont se trouve dans une autre position.

Intensité du courant et tension dans une antenne. — M. Slaby[1] partant de la supposition, qu'avec les courants de haute fréquence, il ne se produit pas de perte par suite de la perturbation de l'électricité par l'air ou par l'isolation, déduisit mathématiquement la loi d'après laquelle l'intensité du courant et la tension du fil (fig. 5) varient comme fonction de la place et du temps.

La base rigoureuse d'une théorie sur les phénomènes qui se produisent dans des fils tendus verticalement devrait être celle des équations différentielles de Maxwell, ces équations rendent, avec le plus d'exactitude, les lois des forces électriques et magnétiques

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1902. S. 165.

dans l'espace. Cette manière de procéder créerait des difficultés mathématiques ; c'est pour cette raison que nous suivrons principalement M. Slaby.

Fixons aux bornes d'une bobine d'induction J (fig. 7) deux fils chacun d'une longueur $= l$. Ces fils chargés, on obtient à la décharge un maximum d'intensité du courant au milieu, laquelle

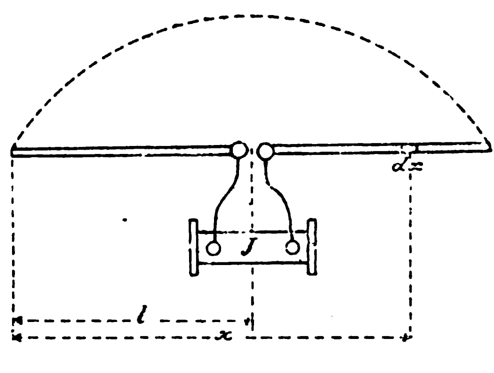


Fig. 7.

diminue vers les extrémités. Pour un circuit fermé à courant alternatif, de basse tension et de faible fréquence nous avons l'équation :

$$v = iR + L \frac{di}{dt}$$

dans laquelle v et i représentent les valeurs instantanées de la tension et de l'intensité du courant et R et L la résistance et le coefficient de self-induction de tout le conducteur. Pour le fil (fig. 7) dans lequel se présentent des courants de haute fréquence, l'équation n'est pas juste ; les parties élémentaires du fil, en conséquence de leur capacité, se chargent et c'est pourquoi le courant qui sort d'une de ces parties est plus faible que celui qui entre dans la même partie.

L'équation ci-dessus n'a donc de valeur que pour dx : élément infiniment petit du conducteur dans lequel le courant peut être considéré comme ayant une valeur constante ; l'équation devient ainsi :

$$dv = R_1\, dxi + L_1\, dx \frac{di}{dt} \quad (1)$$

où :

R_1 et L_1 représentent la résistance et le coefficient de self-induction par unité de longueur du conducteur.

Si l'on a pour les courants alternatifs ordinaires l'équation :

$$Q = CV$$

où :

Q = la quantité d'électricité,
C = la capacité et
V = la différence de potentiel,

dans les courants de haute fréquence, cette équation devient pour l'élément dx :

$$dqdx = C_1\, dxdv$$

où :

dq exprime la charge de l'unité de longueur du fil et C_1 la capacité de l'unité de longueur,

ou :

(2) $$dv = \frac{dq}{C_1}.$$

Nous avons dessiné (fig. 8) une partie élémentaire du conducteur, limitée par deux coupes ab et cd, distante de dx. Dans la

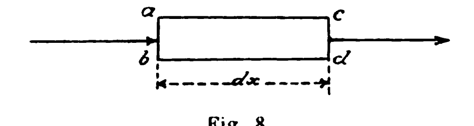


Fig. 8.

direction indiquée du courant, dans la coupe ab l'intensité du courant $= i$ et cette intensité dans la coupe cd sera : $i - \frac{di}{dx} dx$. Pendant le temps dt, il entrera dans l'élément une quantité d'électricité idt, tandis que la quantité qui en sortira $= \left(i - \frac{di}{dx} dx\right) dt$; la différence entre les deux quantités est la charge du petit élément que nous avons indiquée par $dqdx$

ainsi :

$$dqdx = \frac{di}{dx}\, dx\, dt$$

ou :

(3) $$dq = \frac{di}{dx}\, dt.$$

De (1) et (2) on tire :

$$\frac{dq}{C_1 dx} = R_1 i + L_1 \frac{di}{dt},$$

et en différentiant on aura :

$$\frac{d^2q}{C_1 dx dt} = R_1 \frac{di}{dt} + L_1 \frac{d^2i}{dt^2}$$

et de (3) on déduit :

$$\frac{d^2q}{C_1 dx dt} = \frac{d^2i}{C_1 dx^2}$$

ainsi :

$$\frac{1}{C_1} \frac{d^2i}{dx^2} = R_1 \frac{di}{dt} + L_1 \frac{d^2i}{dt^2}. \tag{4}$$

Par intégration de cette équation différentielle, on peut trouver l'intensité du courant comme fonction du temps et de la place.

Pour résoudre l'équation, soit :

$$i = Ae^{pt} \sin mx, \tag{5}$$

on a :

$$\frac{d^2i}{dx^2} = -m^2 i,$$

$$\frac{di}{dt} = pi,$$

$$\frac{d^2i}{dt^2} = p^2 i,$$

et ces valeurs substituées dans (4) donnent :

$$i\left(\frac{m^2}{C_1} + R_1 p + L_1 p^2\right) = o,$$

d'où il s'ensuit, que la fonction supposée satisfait à l'équation, si p et m ont une valeur qui réponde à :

$$\frac{m^2}{C_1} + R_1 p + L_1 p^2 = o. \tag{6}$$

Les conditions de limite sont (voy. fig. 7) :

Pour

$$t = o \text{ et } x = o$$

on a

$$i = o$$

pour

$$t = o \text{ et } x = 2l$$

on a

$$i = o$$

d'où :

$$\sin 2\, ml = o,$$

ou $m = \frac{\pi}{2l}$, si nous négligeons les ondes supérieures.

Les valeurs de p se déduisent de (6) et si nous appelons les racines de cette équation p_1 et p_2
on a :

$$p_1 = -\frac{R_1}{2L_1} + \sqrt{\frac{R_1^2}{4L_1^2} - \frac{\pi^2}{4l^2L_1C_1}}$$

et

$$p_2 = -\frac{R_1}{2L_1} - \sqrt{\frac{R_1^2}{4L_1^2} - \frac{\pi^2}{4l^2L_1C_1}}.$$

Comme le premier facteur sous le signe radical peut être négligé en regard du second, C et R étant tous deux très petits en pratique, on a approximativement :

$$p_1 = -\frac{R_1}{2L_1} + j\sqrt{\frac{\pi^2}{4l^2L_1C_1}}$$

et

$$p_2 = -\frac{R_1}{2L_1} - j\sqrt{\frac{\pi^2}{4l^2L_1C_1}}.$$

Deux intégrales particulières sont donc :

$$i = e^{p_1 t} \sin \frac{\pi}{2l} x$$

et

$$i = e^{p_2 t} \sin \frac{\pi}{2l} x,$$

de sorte que la solution générale de l'équation différentielle sera :

(7) $$i = Be \quad \sin \frac{\pi}{2l} x + C e^{p_2 t} \sin \frac{\pi}{2l} x.$$

Pour abréger nous posons :

$$\sqrt{\frac{\pi^2}{4l^2L_1C_1}} = a$$

nous aurons donc :

$$p_1 t = -\frac{R_1}{2L_1} t + jat$$

et

$$p_2 t = -\frac{R_1}{2L_1} t - jat$$

et comme :

$$e^{jat} = \cos at + j \sin at$$

et

$$e^{-jat} = \cos at - j \sin at,$$

l'équation (7) sera :

$$i = e^{-\frac{R_1}{2L_1} t} \sin \frac{\pi}{2l} x \left[(B + C) \cos at + j (B - C) \sin at\right]$$

d'où l'on déduit :

$$i = De^{-\frac{R_1}{2L_1} t} \sin \frac{\pi}{2l} x \sin (at + b).$$

Quant à D et b, ce sont deux constantes à déterminer d'après les conditions initiales ; au commencement de la décharge, t infiniment petit, et entre les boules de l'oscillateur $x = l$, l'intensité du courant est un maximum et cette condition n'est remplie que lorsque D est le maximum de i, et $b = \frac{\pi}{2}$.

Appelons i_{max} cette valeur de i, nous aurons :

$$i = i_{max} e^{-\frac{R_1}{2L_1} t} \sin \frac{\pi}{2l} x \cos at$$

ou :

$$i = i_{max} e^{-\frac{2R_1 l}{4L_1 l} t} \sin \frac{\pi}{2l} x \cos \pi \sqrt{\frac{1}{4l^2 L_1 C_1}}\, t.$$

Nous avons appelé R_1 L_1 et C_1 la résistance, le coefficient de self-induction et la capacité par unité de longueur du fil. Si nous appelons R, L et C ces grandeurs pour tout le fil dont la longueur $= 2\,l$, la solution de l'équation différentielle sera :

$$(8) \qquad i = i_{max} \sin \left(\frac{\pi}{2l} x\right) e^{-\frac{R}{2L} t} \cos \left(\pi \sqrt{\frac{1}{LC}}\, t\right).$$

Il s'ensuit qu'en chaque point du fil il se produit un courant alternatif amorti, dont l'amplitude, comptée à partir des boules

de l'oscillateur varie sinusoïdalement, et ce courant alternatif subit aussi avec le temps une variation sinusoïdale.

Du facteur $i_{max} \sin\left(\frac{\pi}{2l} x\right)$ on voit que le courant varie sinusoïdalement ; pour chaque valeur de t, $i = o$ aux extrémités du fil, où se trouvent des nœuds de courant, tandis que $i =$ maximum au milieu du fil ; il y a donc là un ventre de courant.

Du deuxième facteur $e^{-\frac{R}{2L}t}$ il s'ensuit que le courant diminue en intensité quand t augmente ; en d'autres termes le courant subit un amortissement.

La période de vibration T reste constante et peut être déterminée par le troisième facteur :

$$\cos\left(\pi\sqrt{\frac{1}{LC}}\,t\right)$$

d'où :

$$\pi\sqrt{\frac{1}{LC}}\,T = 2\pi$$

ou :

$$T = 2\sqrt{LC}.$$

Comme la vitesse de propagation v des ondes électriques le long des fils verticaux est égale à celle de la lumière (p. 58), la longueur d'onde λ est :

$$\lambda = 2v\sqrt{LC},$$

où C et L sont exprimés en unités électromagnétiques. En multipliant la valeur de C par v^2 on aura C en unités électrostatiques, de sorte que la longueur d'onde sera exprimée par :

$$\lambda = 2\sqrt{LC}$$

où L devra être substitué en unités électromagnétiques et C en unités électrostatiques.

Comme on sait, la capacité d'un fil tendu verticalement d'une longueur égale à $2\,l$ et d'un rayon r, si nous ne prenons pas en considération la plus ou moins grande proximité de la terre ou d'autres conducteurs, s'exprime par :

$$C = \frac{2l}{2\log_e \frac{2l}{r}} \text{ (en unités électrostatiques).}$$

Hertz prit pour le coefficient de self-induction d'un pareil fil la valeur, déduite de la formule de Neumann :

$$L = 4l \left[\log_e \frac{4l}{r} - 0,75 \right]$$

et comme le $\log_e 2$ est égal à peu près à 0,75, on aura approximativement :

$$L = 4l \log_e \frac{2l}{r} \text{ (en unités électromagnétiques).}$$

En substituant ces valeurs de C et L dans l'expression trouvée pour λ il viendra :

(9) $$\lambda = 2\sqrt{4l^2} = 4l.$$

Ce calcul est donc la confirmation du résultat expérimental suivant :

La longueur totale du fil détermine la demi-longueur d'onde ; dans chaque moitié du fil, comptée à partir des boules de l'oscillateur il se produit une 1/4 longueur d'onde.

On peut aussi déduire la loi d'après laquelle la tension v le long du fil varie au moyen des équations ci-dessus. Quand on différentie l'équation (1) par rapport à x, on aura :

$$\frac{d^2V}{dx^2} = R_1 \frac{di}{dx} + L_1 \frac{d^2i}{dxdt}.$$

De (2) et (3) on tire :

$$\frac{di}{dx} = C_1 \frac{dv}{dt},$$

et celle-ci différentiée par rapport à t :

$$\frac{d^2i}{dxdt} = C_1 \frac{d^2v}{dt^2},$$

d'où :

(10) $$\frac{1}{C_1} \frac{d^2V}{dx^2} = R_1 \frac{dV}{dt} + L_1 \frac{d^2V}{dt^2}.$$

Cette équation différentielle peut se résoudre en supposant que v soit de la forme :

$$V = Ae^{pt} \cos mx.$$

Par substitution dans l'équation (10) on aura :

$$v\left(\frac{m^2}{C_1} + R_1 p + L_1 p^2\right) = o,$$

ainsi :

$$\frac{m^2}{C_1} + R_1 p + L_1 p^2 = o.$$

Pour

$$t = o \text{ et } x = l$$

on a :

$$v = o \text{ (fig. 5)}$$

ainsi :

$$m = \frac{\pi}{2l}.$$

De la même manière comme ci-dessus la solution générale de l'équation différentielle sera :

$$V = De^{p_1 t} \cos \frac{\pi}{2l} x + Ee^{p_2 t} \cos \frac{\pi}{2l} x.$$

$$V = e^{-\frac{R_1}{2L_1} t} \cos \frac{\pi}{2l} x \, (D + E) \cos at + j\,(D - E) \sin at$$

ou :

$$V = Ke^{-\frac{R_1}{2L_1} t} \cos \frac{\pi}{2l} x \sin (at + b).$$

Au commencement de la décharge, donc pour t infiniment petit, la tension est maximum aux extrémités du fil, donc pour $x = o$ et $x = 2\,l$; cela aura lieu si K représente ce maximum, et $b = \frac{\pi}{2}$.

Si nous nommons ce maximum V_{max}, nous aurons :

$$V = V_{max}\, e^{-\frac{R_1}{2L_1} t} \cos \frac{\pi}{2l} x \cos at$$

ou :

$$(12) \qquad V = V_{max} \cos\left(\frac{\pi}{2l} x\right) e^{-\frac{R}{2L} t} \cos\left(\pi \sqrt{\frac{1}{LC}}\, t\right).$$

Du facteur $\cos\left(\frac{\pi}{2\,l} x\right)$ il s'ensuit que la tension, ainsi que l'intensité du courant, varie sinusoïdalement ; cependant avec cette différence que l'on a au milieu du fil un ventre de tension et aux extrémités des nœuds de tension.

Énergie radiée. — Les phénomènes électriques qui se présentent dans une antenne sont caractérisés par un changement continuel entre l'énergie électrostatique et l'énergie électromagnétique. Comme nous l'avons vu, la tension est maximum, au moment où l'intensité du courant est zéro, et inversement. Au maximum de tension correspond une énergie électrostatique égale à $1/2\ CV^2$ et une énergie électromagnétique égale à zéro. L'énergie radiée, l'énergie utile donc, sera à cet instant proportionnelle à CV^2 et dans l'unité de temps à : $\frac{CV^2}{\sqrt{CL}}$ ou à $V^2\sqrt{\frac{C}{L}}$. Cette énergie peut être augmentée de trois manières différentes :

1° en augmentant V.

2° en diminuant L.

3° en augmentant C.

Comme dans l'expression $V^2\sqrt{\frac{C}{L}}$, C et L représentent la capacité et la self-induction distribuée proportionnellement le long du fil, V sera la tension de charge. En augmentant cette tension, l'énergie radiée pourra bien être augmentée, cependant le maximum de la tension superficielle, qui dépend de la tension de charge, ne peut pas être augmenté indéfiniment. Aussitôt que la plus haute tension superficielle admise est dépassée, il se produit une perturbation d'électricité par l'air ou par l'isolation. Cette perturbation représente une certaine quantité d'énergie perdue que l'on peut constater dans l'obscurité à un rayonnement lumineux du fil. Pour prévenir ces décharges il faut en tout temps bien isoler l'antenne du mât; à l'endroit où le fil pénètre dans la station, celui-ci doit être parfaitement isolé du mur. Pour prévenir des décharges superficielles on peut recommander de se servir de corde pour la partie supérieure des haubans et de métal pour la partie inférieure [1]).

Une antenne à grande self-induction, par exemple avec bobine intercalée, exercera une influence contraire sur l'action à distance, par suite du très faible décrément de rayonnement des bobines

[1] En employant pour les fils, avec lesquels le mât est maintenu en place, des parties l'une isolée de l'autre, on prévient aussi que des ondes prennent naissance dans ces fils; ces ondes produiraient un amortissement dans le récepteur, ce qui empêchera une syntonie aiguë.



(p. 47). Pour maintenir une longueur d'onde constante, on fera correspondre à tout accroissement de C une diminution de L, de sorte qu'une augmentation de la capacité était le moyen tout indiqué pour étendre la sphère d'action.

Les premières expériences de M. Marconi prouvèrent déjà qu'une augmentation de la capacité exerçait une influence heureuse sur la distance à laquelle on pouvait transmettre des signaux ; il se servit de grandes plaques de métal, pendues à un mât et reliées à l'oscillateur. Suivant M. Marconi, plus ces plaques étaient élevées au-dessus de la surface de la terre, plus leur efficacité était grande. Il reconnut bien vite que les longs fils dont il se servait à cet effet exerçaient une grande influence sur la distance où pouvaient être établies des communications. Voilà pourquoi il abandonna les plaques de métal et ne se servit plus que de longs fils qui furent fixés à de hauts mâts; pour de grandes distances des ballons ou des cerfs-volants enlevèrent les fils.

Comme il ressort de l'expression de C à la page 22, on ne pourra pas obtenir un accroissement appréciable de la capacité d'une antenne en augmentant le diamètre du fil, mais en se servant de plusieurs fils aériens — antennes multiples — qui formeront un réseau, on atteindra une augmentation sensible de la capacité et par là une bien plus grande action à distance.

Antennes multiples. — Les réseaux aériens, qui ont maintenant totalement éloigné l'antenne simple, admettent une grande variété de construction.

M. Fessenden dispose l'antenne sous la forme d'un cylindre, les extrémités supérieures des fils sont fixées isolément à un anneau. Comme la capacité des fils, par rapport à la self-induction, est grande, on obtient de cette manière non seulement un système d'antennes rayonnantes très actif, mais en même temps des ondes d'une grande longueur, ce qui est favorable à une bonne transmission.

Déjà de bonne heure M. Marconi se servit d'antennes multiples, entre autres dans ses expériences entre l'île de Wight et le phare Lizard, distants de 300 kilomètres. Dans les deux stations on monta quatre fils verticaux, de 48 mètres de longueur chacun et

écartés l'un de l'autre de 1,5 m. Dans ses expériences en 1901 entre Biot (France) et Calvi en Corse, que sépare une distance de 175 kilomètres, il se servit de quatre fils isolés, reliés par en haut et par en bas et séparés à un écartement de 1,5 m. au moyen de deux croix en bois.

Pour les essais tant commentés que fit M. Marconi, en 1901, entre les stations de Poldhu en Cornouailles et le cap Breton au Canada, afin de montrer la possibilité de correspondre par-dessus

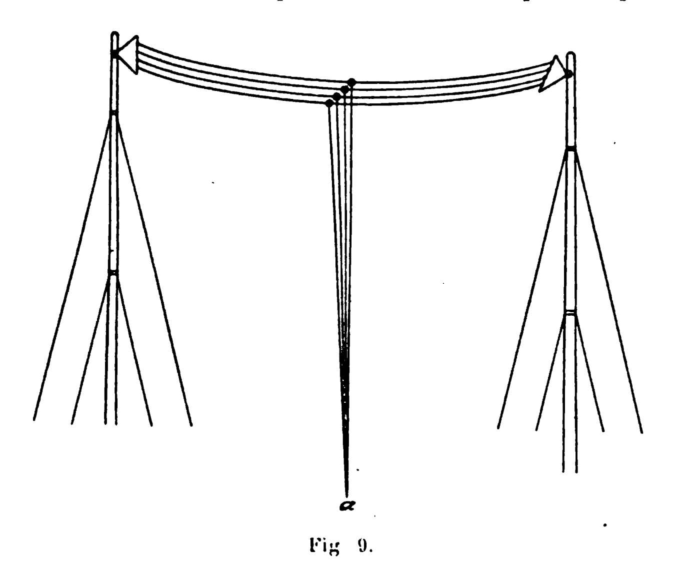


Fig 9.

l'Océan Atlantique au moyen de la télégraphie sans fil, on éleva dans ces deux stations des tours, entre lesquelles furent tendus de grands réseaux de fils. A Poldhu on édifia quatre tours de 64 mètres de hauteur dont les centres des surfaces formaient un carré de 60 mètres de côtés. D'un sommet à l'autre on tendit des câbles et de chaque câble on descendit 100 fils de cuivre, distants de 50 centimètres sous un angle de 45°. Les 400 fils formaient ainsi une pyramide, le sommet en bas, d'où l'on tendit un fil qui relia l'antenne, soit à l'appareil récepteur, soit à l'appareil transmetteur. Un même réseau de fils fut tendu sur la côte américaine.

A bord des navires, une ou plusieurs antennes sont quelquefois directement fixées aux drisses de pavillon placées sur le câble horizontal qui réunit les deux grands mâts dans le sens de la lon-

gueur du navire (fig. 9). Ces conducteurs arrivent ainsi directement à la cabine-poste *a*, mais cette disposition ne permet pas de donner le maximum de hauteur à l'antenne. La disposition avec mâterau fixé au grand mât, assure une plus grande hauteur totale à l'antenne et sa partie supérieure est ainsi franchement au-dessus des mâts et des cheminées du navire.

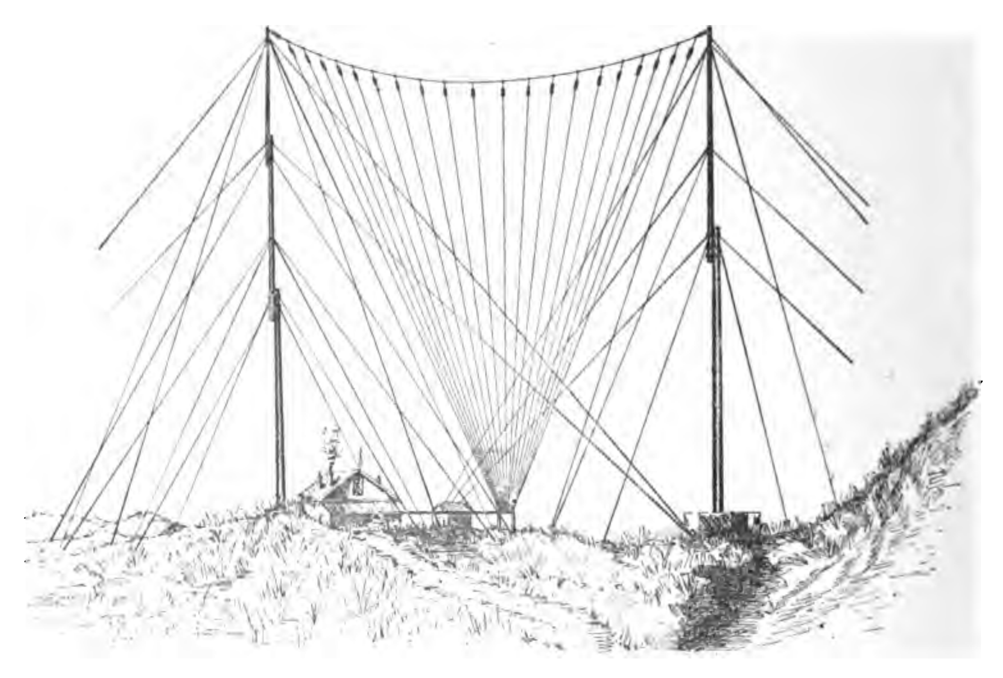


Fig. 10.

La figure 10 reproduit le réseau aérien de la station installée à Scheveningue par la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie » à l'usage de l'administration des Postes et des Télégraphes des Pays-Bas. Pour ce réseau on a fixé à une corde tendue aux sommets de deux mâts 20 fils métalliques l'un à côté de l'autre. Ces fils, isolés de la corde aussi parfaitement que possible au moyen de tiges d'ébonite, descendent vers une autre corde, dont ils sont isolés de la même manière. De là ils vont à une latte et se réunissent en un point pour être introduits dans le local où se trouvent les appareils. Comme les fils sont isolés à leur extrémité supérieure, il faut avoir bien soin, au point de vue d'une bonne syntonie, que la

longueur d'onde ou le produit LC soit le même pour chaque fil.

La considération suivante nous montre dans quelle mesure C devient plus grand et L plus petit, quand on se sert d'un réseau de fils.

Tendons parallèlement deux fils, chacun d'une longueur $= l$, un rayon $= r$, à une distance $= b$; si l'on relie ces fils par leurs extrémités supérieures et de même par leurs extrémités inférieures, la capacité résultante des deux fils montés en dérivation sera : $C = a \frac{2l}{2 \log_e \frac{l}{r}}$; dans cette expression a est un facteur dépendant de la distance b et ce facteur est toujours plus petit que 1, car les deux fils chargés à des potentiels égaux, exerceront une action désélectrisante l'un sur l'autre.

M. Slaby[1] trouva dans ses expériences, qu'à des distances de plus de 1 mètre cette action désélectrisante pouvait être négligée, a était alors $= 1$, de sorte que la capacité résultante était égale au double de la capacité d'un fil. En ce qui concerne le coefficient résultant de self-induction des deux fils montés en dérivation, il est la moitié de celui d'un seul fil, ainsi égal à $l \log_e \frac{l}{r}$, si l'induction mutuelle était négligée. Si nous tenons compte de cette dernière en introduisant le facteur β, on a $L = \frac{1}{\beta} \, l \log_e \frac{l}{r}$, où β est dépendant de la distance b et plus petit que 1. Il parut à M. Slaby que l'influence de l'induction mutuelle s'étendait à de plus grandes distances que l'action désélectrisante. A une distance mutuelle des fils de 1 mètre $\beta = 0{,}976$ ainsi pratiquement $= 1$, de sorte que le coefficient résultant de self-induction des deux fils, montés en dérivation, était égal à la moitié de celui d'un seul fil. Parce que C devient deux fois plus grand et L deux fois plus petit, il résulte de la forme $V^2 \sqrt{\frac{C}{L}}$ (p. 25), qu'avec deux fils montés en dérivation, l'énergie radiée peut être doublée. La même considération s'applique à plusieurs fils, montés en dérivation ; ainsi dans n fils, l'énergie en raison de 1 fil sera de n fois plus grande. Comme dans la pratique le minimum de la distance des fils de 1 mètre ne peut pas toujours être maintenu et que ces

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1904, S. 715.

fils se rejoignent, sur une certaine longueur, à l'extrémité inférieure, l'action utile calculée d'un réseau de fils diminuera pour cette raison. L'emploi d'antennes en forme de cône, le sommet tourné en bas n'augmente pas autant l'énergie de charge qu'une disposition parallèle des fils (montage en harpe). M. Slaby trouva que lorsque les extrémités de dix fils chacun de 10 mètres de long étaient fixées à la circonférence d'un cercle de façon que la distance entre les points de fixation fût de 25 centimètres, l'énergie de charge n'était alors que de 3 fois plus grande que pour un seul fil. Il est vrai que, quand la base du cône est plus grande, les conditions s'améliorent, mais on n'obtient pas les résultats du montage harpique.

De l'expression de la période propre :

$$T = 2\sqrt{LC}$$

il résulte que plusieurs fils montés parallèlement n'apporteront aucune variation notable à celle-ci. Si l'on veut augmenter la période et par suite aussi la longueur d'onde, on pourra le réaliser dans des limites très étendues en intercalant une self-induction à l'extrémité inférieure de l'antenne. Ici toutefois il convient de ne pas perdre de vue que de cette manière l'intensité du courant dans l'antenne diminuera, ce qui affaiblira l'action à distance ; donc partout où la distance de communication est le principal objectif on ne devra recourir à l'intercalement de bobines pour obtenir de plus grandes longueurs d'ondes que s'il y a nécessité.

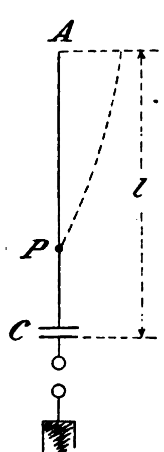


Fig. 11.

On obtient une diminution de la période, ce qui peut être désirable quand il s'agit d'émettre ou de recevoir des ondes plus petites, sans raccourcissement de l'antenne, simplement en montant un condensateur — appelé capacité de réduction — à l'extrémité inférieure de l'antenne. Dans la figure ci-jointe, A représente l'antenne et C ce condensateur. Si l'on examine maintenant la valeur des tensions en différents points de l'antenne, on constatera, à une certaine distance du condensateur, par exemple au point P, un nœud de tension et à l'extrémité A un

ventre de tension; de sorte qu'il s'est formé une onde d'une longueur moindre que celle qui se serait développée sans la présence du condensateur. La grandeur à donner à la capacité pour diminuer la longueur d'onde d'une certaine quantité peut être déduite de la formule approximative :

$$\lambda = 2\pi\sqrt{CL_1\left(l - \frac{\lambda}{4}\right)}$$ [1]

où

λ représente la longueur d'onde voulue;

C la capacité du condensateur à intercaler;

L_1 le coefficient de self-induction de l'antenne par unité de longueur;

l la longueur de l'antenne.

Les expériences de M. Slaby ont montré que la formule ci-dessus est aussi applicable aux antennes multiples.

Dispositifs de Braun. — Avec le dispositif primitif Marconi — une électrode à la terre, l'autre à l'antenne — M. Marconi, déjà en 1897, atteignit des distances de communication de 12 kilomètres. En raison du grand amortissement qui accompagne toujours cet arrangement, le rayon d'action ne pouvait être notablement augmenté; de plus pour obtenir une résonance parfaite on se heurtait à des difficultés insurmontables. Ces difficultés furent résolues par la manière dont M. Braun engendrait les vibrations dans l'antenne. Le premier il se servit d'un circuit fermé, avec lequel l'antenne fut accouplée : soit directement (fig. 12), soit inductivement (fig. 13).

Le grand avantage que présente cet arrangement, c'est que l'on peut emmagasiner beaucoup plus d'énergie dans le circuit oscillateur et que par conséquent on dispose, dans le circuit radiateur, de beaucoup plus d'énergie pour le rayonnement. L'énergie rayonnée ou transformée en chaleur est, pour ainsi dire, immédiatement remplie par un réservoir. M. Lodge, en 1897, prit un brevet pour un accouplement inductif en rapport avec l'arrangement de la station réceptrice; MM. Marconi et Fessenden pré-

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1901, S. 779.

tendent tous deux que l'honneur de l'invention Braun leur revient.

Outre les formes fondamentales citées, M. Braun appliqua encore d'autres arrangements, déduits de ces formes premières; ces dispositifs cependant reposent sur le même principe : petit amortissement et grande énergie de rayonnement. Dans la figure 12, les condensateurs C sont chargés au moyen d'une bobine d'induction R et à la décharge des ondes se produisent dans le circuit fermé VCLC, dont la période est déterminée par la capacité des condensateurs et le coefficient de self-induction de la

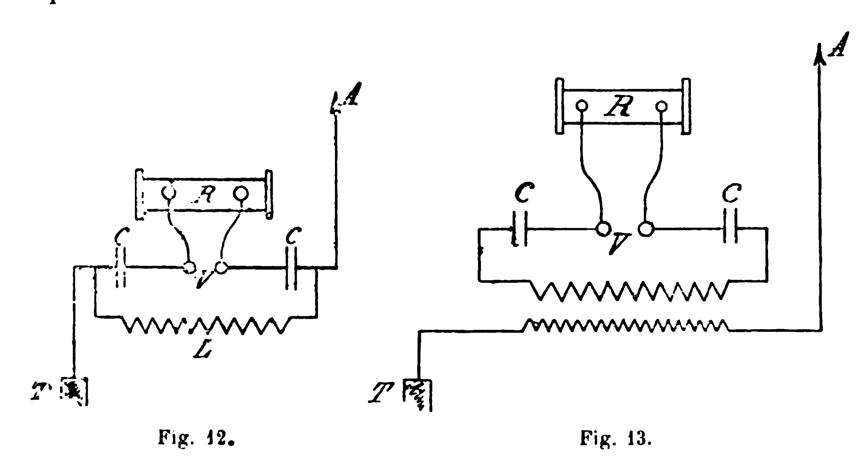


Fig. 12. Fig. 13.

bobine intercalée L. Les valeurs de C et de L de l'antenne doivent être prises de façon qu'entre les vibrations dans le circuit fermé et la période propre de l'antenne, la résonance se produise. Dans la figure 13 les vibrations dans l'antenne sont engendrées par induction; ici, la résonance doit exister aussi entre les vibrations dans le circuit fermé et la période propre de l'antenne avec les spires secondaires intercalées. Avec ce montage l'énergie radiée ou transformée en chaleur est aussi renouvelée par le circuit primaire.

Ce dispositif est dit accouplé et le degré d'accouplement ou le coefficient d'accouplement, représenté par la lettre k, est :

$$k = \sqrt{\frac{M_{12}^2}{L_1 L_2}},$$

où L_1 est le coefficient de self-induction du premier circuit, L_2

celui du second et M_{12} le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits. S'il passe peu de lignes de force de l'un des circuits dans l'autre, c'est-à-dire si M_{12} est très petit, k sera aussi très petit et on a un accouplement lâche; dans le cas contraire, k approchant de 1, on a un accouplement fixe. Si les deux circuits ont une partie commune, comme dans la figure 12, on a ce qu'on appelle quelquefois aussi un circuit accouplé; c'est cependant un accouplement galvanique, le champ magnétique n'y joue aucun rôle et, pour prévenir tout malentendu, il est recommandable de ne se servir des termes « d'accouplement lâche et d'accouplement fixe » qu'avec un dispositif *inductif*, tandis qu'on pourrait désigner un accouplement galvanique par le terme « d'accouplement *direct* ».

M. Braun fit des expériences comparatives avec son dispositif et celui qui servait auparavant, où l'antenne était reliée à l'une des boules de l'oscillateur et l'autre boule à la terre. Les résultats de ces expériences sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

INTENSITÉ DU COURANT dans la bobine d'induction en ampères.	ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE REL.	
	Ancien dispositif.	Accouplement inductif.
2	8	26
2,5—3	10	40
4	10	55
6	10	62

Il s'ensuit que quand l'énergie primaire augmente, l'énergie électromagnétique atteignait bientôt une limite avec l'ancien dispositif, mais qu'elle augmente toujours avec l'accouplement inductif.

L'énergie d'où dépend le rayonnement $= 1/2\ CV^2$ où V est le potentiel auquel les condensateurs sont chargés. Cette quantité d'énergie peut être augmentée en augmentant C ou V ; cependant avec l'arrangement Braun il faut en même temps que la période des oscillations du circuit fermé soit égale à celle de l'antenne. Avec une augmentation de C, L doit diminuer, T étant dépendant du produit des deux facteurs.

Si nous nommons L_1 la self-induction du circuit fermé, L_2 celle

de l'antenne et M_{12} le coefficient d'induction mutuelle on a :

$$k = \sqrt{\frac{M_{12}^2}{L_1 L_2}}.$$

Comme l'augmentation de la tension secondaire et par conséquent l'action à distance, dépend du facteur k, celui-ci doit être maintenu au-dessus d'une certaine valeur. Avec un accouplement direct $M_{12} = L_1$ ainsi $k = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$ et comme L_2 a une valeur constante, déterminée par les dimensions de l'antenne, lorsque L_1 diminuera, k diminuera aussi.

Comme celui-ci cependant ne peut descendre que jusqu'à une certaine valeur, il existe une limite déterminée pour C qui ne peut pas être dépassée; de plus, avec l'augmentation de C la self-induction L des condensateurs augmentera, ce qui est produit principalement par les armatures. Ce sont surtout les bouteilles de Leyde qu'on emploie fréquemment dans la télégraphie sans fil, qui ont pour les courants de haute fréquence une self-induction qui n'est pas à négliger et dont il faut tenir compte dans la syntonie. Les conducteurs de connexion et la coupure possèdent aussi de la self-induction.

Pour une augmentation de tension dans le circuit fermé il y a également une limite, laquelle est déterminée par les effluves électriques qui peuvent se présenter sur les bords des bouteilles de Leyde. Surtout avec du verre contenant du plomb, il se développe sur ces parties du verre une grande chaleur qui représente une perte d'énergie; même en se servant du meilleur *flintglass*, les pertes causées par l'hystérésis diélectrique ne peuvent être évitées.

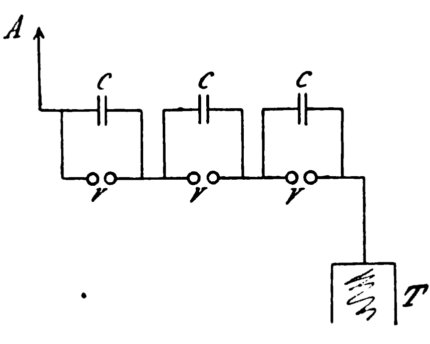


Fig. 14.

Pour parer à tous ces inconvénients M. Braun appliqua le principe de l'étincelle multiple, méthode qui présente encore d'autres avantages dont il sera parlé à la page 45. La figure 14 pourra en donner une idée; un certain

nombre de circuits condensateurs, avec exactement la même période sont montés en série ; l'antenne de transmission parcourt tous les circuits. La tension totale de la bobine d'induction sera

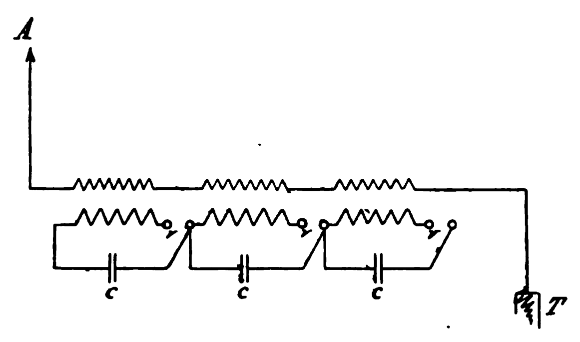


Fig. 15.

partagée de cette manière sur plusieurs coupures. Si C est la capacité de 1 condensateur, V la tension de charge de ce condensateur et n le nombre des circuits fermés, l'énergie totale sera :

$$\frac{1}{2} nCV^2.$$

La figure 15 représente un accouplement inductif pour un arrangement de ce genre. Un inconvénient toutefois de ces dispositifs est que la bobine d'induction ou le transformateur doit pouvoir fournir une très haute tension et pour remédier aux difficultés qui découlent de là, M. Braun appliqua d'autres dispositifs — appelés « dispositifs multiples de Braun » — dont la figure 16 en représente un à accouplement inductif. Les points A et B sont reliés aux pôles de la bobine d'induction ; les conducteurs joignant ces points aux circuits-condensateurs possèdent une très grande résistance, de sorte qu'à la décharge une faible part seulement des

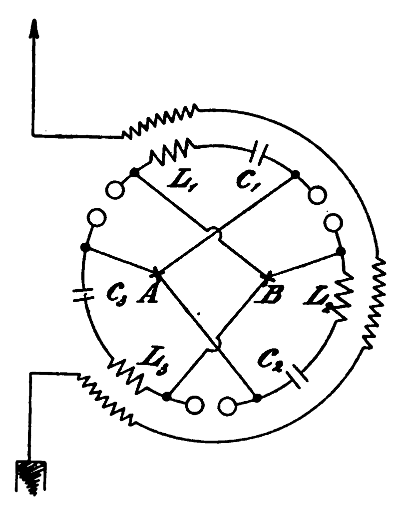


Fig. 16.

oscillations passera par ces conducteurs. La figure montre que les condensateurs sont chargés en dérivation, tandis qu'à la décharge ils sont montés en série et forment alors avec les bobines de self-induction L_1, L_2 et L_3 un circuit-condensateur unique.

Avec ce dispositif on a donc cet avantage que la tension de charge n'a pas besoin d'être proportionnellement accrue avec le nombre des circuits-condensateurs comme dans les figures 14 et 15; l'énergie totale est cependant devenue plus grande dans le même rapport. Si on compare maintenant ce dispositif, dans lequel nous supposons que la capacité d'un condensateur soit C et la self-induction d'une bobine L, à un circuit condensateur simple avec une capacité C et une self-induction L, la période de vibration n'aura éprouvé aucune variation, parce que la résultante des C· est devenue trois fois plus petite et celle des L trois fois plus grande.

L'invention de M. Braun, d'engendrer des oscillations dans un circuit fermé, avec lequel l'antenne est accouplée soit directement soit inductivement — invention qui a fait faire un grand pas à l'application pratique de la télégraphie sans fil — a été mise à profit presque dans tous les systèmes modernes.

Ondes supérieures. — Si nous avons deux circuits accouplés inductivement, nous pouvons, en variant L ou C du second circuit, syntoniser celui-ci sur le premier. En intercalant alors un ampèremètre thermique dans le second circuit, l'intensité du courant indiquée par l'ampèremètre, une fois cette syntonisation réalisée, atteindra une valeur maximum qu'on appelle valeur de résonance. Traçons maintenant une courbe dont les abscisses marquent le rapport entre les fréquences n_2 et n_1 des deux circuits et les ordonnées celui de la valeur de résonance I_{max} et des courants observés I, la courbe, dite courbe

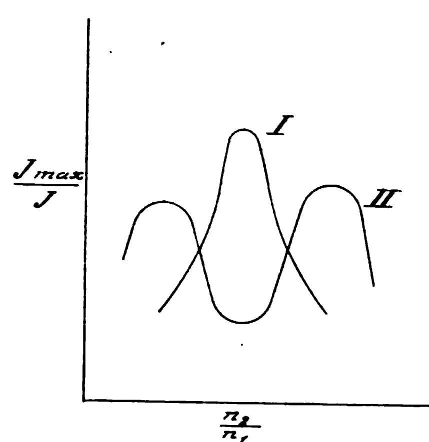


Fig. 17.

de résonance, atteindra alors 1 maximum avec un accouplement faible (courbe I, fig. 17) et avec un accouplement fort elle présentera 2 maxima (courbe II), ce qui indique qu'en ce cas il y a deux oscillations de différentes fréquences.

Si les deux circuits, par exemple une antenne et un circuit fermé, sont syntonisés sur la même période n_0, on peut trouver par des procédés théoriques[1], qu'avec un accouplement fixe il y a en réalité 2 oscillations dans l'antenne, dont les fréquences n_1 et n_2 sont déterminées par les relations :

$$n_1 = n_0 \frac{1}{\sqrt{1-k}}$$

et

$$n_2 = n_0 \frac{1}{\sqrt{1+k}},$$

où k est le coefficient d'accouplement.

Si on désigne les longueurs d'ondes par λ_0, λ_1 et λ_2, on pourra aussi dire que 2 ondes rayonneront de l'antenne, dont les longueurs sont :

$$\lambda_1 = \lambda_0 \sqrt{1-k}$$

et

$$\lambda_2 = \lambda_0 \sqrt{1+k}.$$

Ceci montre que l'une des ondes est plus petite et l'autre plus grande que celle sur laquelle on a syntonisé et que la différence dépend de la valeur du coefficient d'accouplement. Avec un accouplement lâche, c'est-à-dire k petit, on aura approximativement :

$$\lambda_1 = \lambda_0 \left(1 - \frac{1}{2}k\right)$$

et

$$\lambda_2 = \lambda_0 \left(1 + \frac{1}{2}k\right),$$

d'où il suit :

$$\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = \lambda_0$$

et

$$\lambda_2 - \lambda_1 = k\,\lambda_0$$

[1] *Ann. d. Phys. Bd.* 8, 1902, S. 695 et *Bd.* 13, 1904, S. 545.

ce qui veut dire qu'avec un accouplement lâche, la moyenne arithmétique des deux longueurs d'ondes est égale à la longueur d'onde du circuit non accouplé, et que la différence des deux longueurs est proportionnelle au coefficient d'accouplement. Comme on a supposé k petit, il s'ensuit qu'avec un accouplement lâche, la différence des longueurs des deux ondes radiées sera très petite, et pratiquement on pourra atteindre le cas où une seule onde sera émise.

Avec un accouplement fixe au contraire, c'est-à-dire k grand, la différence entre λ_1 et λ_2 sera grande, les deux ondes radiées auront une grande différence de longueur. Ceci pourra être vérifié expérimentalement à l'aide d'un ondomètre (chapitre VII).

CHAPITRE II

AMORTISSEMENT DES ONDES ÉLECTRIQUES

Comme on l'a déjà fait remarquer (p. 6), avec une décharge oscillante d'un condensateur dans un circuit fermé avec une petite coupure et dans lequel on a intercalé de la résistance et de la self-induction, les valeurs maxima successives des intensités du courant subiront une diminution avec un accroissement de t, en d'autres termes les courants seront amortis. Et comme un faible amortissement est indispensable pour la télégraphie sans fil syntonisée — on le montrera avec plus de détails dans le chapitre V — il est important de rechercher les facteurs dont dépend cet amortissement et d'étudier par quels moyens on peut le diminuer le plus possible.

Facteur d'amortissement. — Dans le circuit mentionné ci-dessus se présente dans l'expression de l'intensité du courant, la fonction exponentielle :

$$e^{-\frac{R}{2L}t},$$

dans laquelle $\frac{R}{2L}$ est appelé facteur d'amortissement δ.

Si on appelle I_1 le maximum de l'intensité du courant et I_2 le maximum suivant dans le même sens, $\log_e \frac{I_1}{I_2}$ sera le décrément logarithmique σ et comme :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{e^{-\delta t}}{e^{-\delta(t+T)}} = e^{\delta t},$$

la relation entre le décrément logarithmique et le facteur d'amortissement sera :

$$\sigma = \delta T.$$

Si nous négligeons l'amortissement pour un instant nous pourrons écrire :

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

et

$$I_0 = V_0 C\omega,$$

où I_0 est le maximum de l'intensité du courant,
V_0 — la tension de décharge
et

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Il s'ensuit de là que

$$I_0 = V_0 \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

ou

$$\frac{V_0^2 C}{2} = \frac{I_0^2 L}{2}.$$

Dans cette formule le facteur $\frac{V_0^2 C}{2}$ représente la quantité d'énergie emmagasinée dans le condensateur et le facteur $\frac{I_0^2 L}{2}$ la quantité d'énergie nécessaire pour produire le champ magnétique. Au moment où la tension sera arrivée à son maximum, l'intensité du courant sera *o* et réciproquement, et l'oscillation produite dans le circuit-condensateur pourra être considérée comme un mouvement de va-et-vient des deux formes d'énergie. Le maximum de l'intensité du courant $I_0 = V_0 C\,\omega$ serait déterminé par les facteurs V_0, C et ω, mais ce courant ainsi déterminé ne saurait être produit ni maintenu, ce qui doit être attribué à l'influence de quatre facteurs généralement désignés comme amortissement. Ces facteurs sont :

1° La résistance ohmique du circuit;

2° — — de l'étincelle ;

3° La perte qui résulte de l'échange des deux sortes d'énergie susdites, perte de nature :

a. Électrique;

b. Magnétique.

Les pertes mentionnées sous *a* se produisent aux pointes aiguës et aux angles des fils ainsi qu'aux armatures des condensateurs

et partiellement aussi par suite de l'hystérésis diélectrique. Cette perte, qui peut être très grande, se fait remarquer par exemple dans les bouteilles de Leyde par un bruit caractéristique qui se produit seulement avec des oscillations très rapides, de sorte qu'on peut conclure avec certitude à la présence d'oscillations. Comme le diélectrique offre une certaine conductibilité aux oscillations rapides, il se produira de l'hystérésis diélectrique, ce qui pourra causer un grand échauffement des condensateurs. Voilà les deux raisons pour lesquelles l'amortissement du circuit-condensateur est plus fort qu'on ne pense.

Les pertes indiquées sous *b* doivent être attribuées à la dispersion des lignes de force magnétiques qui se propagent dans l'espace et cette perte doit être considérée comme l'énergie utile dans la télégraphie sans fil. Dans un circuit fermé, comme les lignes de force sont retenues ensemble, il n'y a pas tendance à dispersion, et c'est pourquoi l'action à distance d'un circuit fermé n'est d'aucune importance (p. 56). Dans une antenne au contraire la dispersion des lignes de force et par le fait même l'action à distance est beaucoup plus grande. Si la plus haute tension admise n'est pas dépassée on pourra négliger l'amortissement causé par la radiation des électrons.

Qu'il se produit aussi un amortissement du courant dans une antenne dans laquelle on a provoqué des oscillations, ressort de l'expression établie à la page 21 de l'intensité du courant. Ici également c'est la résistance ohmique du fil et celle de l'étincelle qui entrent pour une part dans la valeur de l'amortissement.

Avant de considérer plus particulièrement l'influence de ces deux facteurs, remarquons que la part de l'amortissement causée par la propagation dans l'espace des lignes de force magnétiques, est appelée amortissement de rayonnement et le décrément correspondant, décrément de rayonnement. La part de l'amortissement attribuée à la résistance ohmique du fil et à celle de l'étincelle est l'amortissement de résistance et correspond au décrément de résistance.

Résistance des fils pour les courants de haute fréquence. — Par suite du « skin-effet » la résistance des fils droits est beaucoup plus grande pour les courants de haute fréquence que pour les cou-

rants continus. D'après Rayleigh, la résistance R_a pour une haute fréquence n d'un fil tendu rectiligne d'un métal non magnétique d'une résistance spécifique ρ en unités C. G. S. et d'un rayon de r cm. serait :

$$R_a = R_c\, r\, \pi \sqrt{\frac{n}{\rho}},$$

où R_c est la résistance pour courant continu.

Afin d'abaisser la résistance des fils pour les hautes fréquences qui se présentent dans la télégraphie sans fil, il est recommandable de se servir de fils minces revêtus de soie et tordus ensemble. Les fils de cuivre étamés, dont on se sert beaucoup, offrent une grande résistance aux courants de haute fréquence parce que le courant passera principalement par la couche d'étain et non par le cuivre. Toutefois, si l'on se sert de fils de fer recouverts d'une faible couche de cuivre, la résistance sera beaucoup moindre que celle d'un simple fil de fer de même diamètre. C'est ainsi que par exemple M. Bjerknes[1] a prouvé par des expériences que pour une fréquence de 10^8 un fil de fer de 0,5 mm. de diamètre recouvert d'une couche de cuivre de 0,028 mm. obtenait la même résistance qu'un fil de cuivre.

La formule de Rayleigh n'est applicable qu'aux fils droits ou presque droits, non aux bobines. Pour les courants de haute fréquence, le flux de force magnétique sera là différent dans les fibres situées à la même distance de l'axe, en conséquence de quoi le flux d'électricité ne sera plus symétrique par rapport à l'axe du fil, mais plus fort à l'intérieur qu'à l'extérieur de la bobine. Battelli et Magri[2] déterminèrent par des expériences le rapport entre la résistance d'une bobine et celle d'un fil droit de mêmes dimensions pour des périodes différentes. Ils trouvèrent que ce rapport était toujours plus grand que 1 et d'autant plus grand à mesure que la fréquence devenait plus haute et le nombre de spires par unité de longueur plus grand ; dans certains cas ce rapport montait à plus de 2. On peut aider à l'accroissement de la résistance d'une manière très sensible en se servant pour la bobine non de fils massifs, mais de fils très minces tordus ensemble et isolés les uns des autres.

[1] *Wiedem. Ann. Band* 48, 1893, S. 592.
[2] *Phys. Zeitschr.* 3, 1902. S. 359 et 4, 1902, S, 181.

En faisant des mesures dans des circuits parcourus par des courants de haute fréquence, il ne faut pas perdre de vue qu'en intercalant par exemple un instrument thermique, la résistance du circuit et par le fait aussi l'amortissement seront modifiés, à cause de la grande résistance du fil chaud. C'est pour cette raison que dans l'ondomètre de Dönitz (fig. 68) l'instrument thermique n'est pas intercalé directement dans le circuit, mais accouplé inductivement avec celui-ci. Et même dans ce cas il peut arriver que l'amortissement devienne plus grand à cause de la réaction du courant dans l'instrument sur le circuit à mesurer. L'emploi d'un bolomètre présente le même inconvénient, toutefois comme celui-ci est très sensible, l'accouplement peut être beaucoup plus lâche et la réaction réduite au minimum.

Résistance de l'étincelle. — Quant à la résistance de l'étincelle, elle est de beaucoup supérieure à celle des fils, de sorte que l'influence de la résistance sur l'amortissement est surtout déterminée par la résistance de l'étincelle.

M. Slaby décrivit dans la *Elektrotechn. Zeitschr.* 1904, S. 916 la manière de mesurer la résistance de l'étincelle, méthode qui a aussi été suivie par M. Fleming[1] avec de légères modifications. Dans ces mesures M. Slaby trouva constamment une augmentation de résistance avec une augmentation de la longueur de l'étincelle. Les recherches ultérieures de M. Rempp[2] montrèrent qu'avec une longueur d'étincelle de 3 à 6 millimètres la résistance de l'étincelle atteignait un minimum ; pour de plus petites longueurs la résistance était plus forte ainsi que pour de plus grandes longueurs.

M. Slaby déduisit en outre de ses mesures, qu'à différence de potentiel égale, la résistance de l'étincelle était dépendante de la valeur de la capacité intercalée et que cette résistance décroissait avec un accroissement de la capacité, phénomène également constaté par M. Kaufmann[3], par MM. Battelli et Magri[4] et par Drude[5].

[1] *The Electrician*, Jan. 19, 1906, p. 556.
[2] *Ann. d. Phys. Bd.* 17, 1905, S. 627.
[3] *Wiedem. Ann. Bd.* 60, 1897, S. 653.
[4] *Phys. Zeitschr.*, loc. cit.
[5] *Ann. d. Phys.* Bd. 15, 1904, S. 709.

Les recherches de M. Rempp et aussi celles de Drude firent voir que la valeur de la self-induction intercalée dans le circuit avait aussi une influence sur la résistance de l'étincelle et que celle-ci devenait plus grande lorsque L allait en croissant. Que l'influence et de C et de L sur la résistance de l'étincelle est assez grande, découle de l'observation suivante :

Longueur de l'étincelle 1,8 mm. C grand et L petit : résistance de l'étincelle 0,18 ohm ;

Longueur de l'étincelle 1,4 mm. C petit et L grand : résistance de l'étincelle 2,1 ohm.

La forme et la matière même des électrodes ont aussi leur influence sur la résistance de l'étincelle.

C'est seulement pour de petites longueurs d'étincelles que la résistance croît avec le diamètre des électrodes ; pour de plus grandes longueurs, par exemple au-dessus de 4 millimètres, la résistance paraît être indépendante de la forme des électrodes. Cependant, dans la pratique de la télégraphie sans fil, on doit donner la préférence aux boules d'étincelles à grand diamètre ; car, comme le montra M. Zenneck [1], entre autres, en se servant de petites électrodes dans un système accouplé, on atteindra bientôt une limite en augmentant la longueur de l'étincelle, limite à laquelle ni l'amplitude maximum ni l'effet des oscillations n'augmenteront dans le système secondaire.

M. Fleming trouva que pour des longueurs d'étincelles de plus de 2 millimètres, il y avait une différence frappante entre la résistance d'électrodes de fer et celle d'électrodes de laiton ou de zinc. Il lui parut qu'avec des électrodes de 3 centimètres de diamètre et pour des longueurs d'étincelles de 5 à 6 millimètres, la résistance pour des électrodes en fer était à peu près le double de celle des électrodes en zinc. Drude montra qu'au point de vue de la moindre résistance de l'étincelle, les électrodes de zinc étaient préférables à celles de laiton. Les électrodes de laiton présentent cet inconvénient que l'étincelle les attaque fortement, de sorte qu'il est nécessaire de les polir constamment. C'est pourquoi on se sert le plus souvent d'électrodes de zinc dans la télégraphie sans fil.

[1] *Phys. Zeitschr.* 5. 1904, S. 590.

Étincelle multiple. — Comme la résistance de l'étincelle et, par suite aussi le rayonnement dépendent en grande partie de la longueur de l'étincelle, il est clair qu'on cherche à diminuer cette résistance en réunissant en série plusieurs petites longueurs d'étincelles. D'ailleurs, pour de petites longueurs, la différence de potentiel croît proportionnellement avec la longueur, tandis que pour de plus grandes longueurs, celle-ci croît beaucoup plus lentement. Pour une longueur de 10 millimètres, par exemple, il faut une tension de 30 000 volts, tandis que pour trois longueurs de 2,5 mm. montées en série, il faut pour chaque longueur une tension de 10 000 volts. Si, dans les deux cas, on a mis dans le circuit un condensateur de 1 000 centimètres, la résistance de l'étincelle de 10 millimètres sera de $\pm$ 15 ohms et celle des trois étincelles de 2,5 mm. réunies en série de $3 \times 0,2 = 0,6$ ohms. On voit clairement par là toute l'importance pratique de cette méthode pour diminuer l'amortissement.

Comme on l'a déjà fait remarquer page 34, c'est M. Braun qui appliqua le premier l'étincelle multiple dans le but d'augmenter l'énergie; d'après d'autres, ce serait M. Rendahl qui aurait indiqué le premier cette méthode. Avec l'ancien dispositif Marconi, l'augmentation de l'énergie par l'emploi d'une seule étincelle n'est possible que dans une certaine limite, parce qu'en augmentant la longueur de l'étincelle, la différence de potentiel ne croît que lentement et la résistance rapidement à cause entre autres de la faible capacité. Au surplus, avec l'augmentation de la longueur de l'étincelle, la décharge pourra perdre son caractère oscillant. En intercalant plusieurs longueurs d'étincelles en série, on pourra faire croître l'énergie emmagasinée dans l'antenne Marconi jusqu'à ce qu'on ait atteint la limite où une parfaite isolation de l'antenne n'est plus possible. Par ce moyen, on a pu atteindre avec l'antenne Marconi des distances de communication qu'on n'aurait pu réaliser autrement qu'avec le circuit fermé de Braun.

L'étincelle multiple a encore l'avantage suivant : pour une fréquence de charge croissante, la différence de potentiel décroît, parce que sans doute l'intervalle explosif ne perd pas sa conductibilité aussitôt après la première décharge ; la conséquence en est que les décharges suivantes ont lieu sous une plus faible tension.

Cependant, l'étincelle multiple et aussi l'étincelle dans le vide possèdent la propriété de perdre plus vite leur conductibilité, de sorte qu'à tension égale, il peut y avoir un plus grand nombre de décharges.

Décrément logarithmique. — L'action utile dans la télégraphie sans fil dépend en grande partie du nombre d'oscillations complètes dans un train d'ondes, et ce nombre est déterminé par le décrément logarithmique. Représentons par I_1 et I_2 les valeurs de deux amplitudes du courant se succédant dans le même sens, nous aurons :

$$\frac{I_1}{I_2} = e^{\sigma}; \qquad \frac{I_2}{I_3} = e^{\sigma};$$

par suite,

$$\frac{I_1}{I_3} = e^{2\sigma},$$

et si nous nommons n le nombre des périodes de l'oscillation, nous aurons :

$$\frac{I_1}{I_n} = e^{(n-1)\sigma}.$$

En supposant que l'oscillation aura pratiquement cessé quand l'amplitude aura atteint 1 p. 100 de sa valeur initiale, on a :

$$\frac{I_1}{0{,}01 I_1} = e^{(n-1)\sigma}$$

ou

$$(n - 1)\,\sigma = 2{,}303 \times 2,$$

de sorte que le nombre des périodes de l'oscillation sera :

$$n = \frac{4{,}606 + \sigma}{\sigma}.$$

Si maintenant le décrément logarithmique = 0,2 — valeur qui se présente dans les circuits oscillateurs ouverts comme dans le radiateur de Hertz ou comme dans une antenne Marconi et qui est principalement produite par le rayonnement — l'oscillation aura pratiquement cessé après vingt-quatre périodes. Dans un circuit fermé, au contraire, où l'affaiblissement des oscillations est principalement causé par la résistance de l'étincelle, le décrément

est beaucoup plus petit, de sorte que là le nombre des périodes est beaucoup plus grand avant que l'oscillation aura cessé.

Les méthodes pour déterminer le décrément de résistance ont été indiquées, entre autres, par M. Rutherford [1], M. Zenneck [2], Miss Brooks [3], M. Bjerknes et M. Drude. Pour ce qui est du décrément de rayonnement, M. Abraham [4] a indiqué pour un fil de longueur totale l au milieu duquel est placé l'excitateur :

$$\sigma = \frac{2,44}{\log_e \frac{l}{r}}$$

où r représente le rayon du fil.

D'après cette formule, et pour une antenne de 40 mètres de longueur et d'un diamètre de 4 millimètres, dont l'extrémité est mise à la terre (l'on prendra donc $l = 80$ m.), le décrément logarithmique sera de 0,23 ; de sorte que dans ce cas et d'après l'expression ci-dessus, l'oscillation aura pratiquement cessé après une vingtaine de périodes.

M. Bjerknes [5], entre autres, montra par des expériences que pour une antenne hertzienne représentée par la figure 3, le décrément de rayonnement est le principal facteur du décrément total, le décrément de résistance ayant seulement quelque importance pour de grandes longueurs d'étincelles. M. Lagergreen [6] s'est livré, à son tour, à des recherches très minutieuses au sujet du décrément des différentes sortes d'antennes. Quant aux bobines, la perte d'énergie par rayonnement est très faible pour ne pas dire nulle ; le décrément de rayonnement est ici très minime ; de sorte que le décrément total est principalement déterminé par le décrément de résistance.

On peut montrer que le rapport entre le décrément de rayonnement et le décrément de résistance est égal au rapport entre l'énergie radiée et l'énergie perdue dans l'étincelle. M. Fleming [7]

[1] *Phil. Trans. of the Royal Soc. of London*, Ser. A, vol. 189, 1898, p. 1.
[2] *Ann d. Phys. Bd.* 7, 1902, S. 801.
[3] *Phil. Mag. and Journ. of Science*, July 1901, p. 92.
[4] *Wiedem. Ann. Bd.* 66, 1898, S. 435.
[5] *Wiedem. Ann. Bd.* 44, 1891, S. 74, 513.
[6] *Wiedem. Ann. Bd.* 64, 1898, S. 290.
[7] *The Electrician. Febr.* 2, 1906, p. 638.

prend pour exemple dans une de ses « Cantor lectures » bien connues une antenne Marconi dont une boule de l'excitateur est mise à la terre. Si la longueur d'étincelle est de 5 millimètres, le rapport entre les décréments susdits sera environ de 10, de sorte que le rendement de l'antenne sera à peu près de 90 p. 100. Prenons maintenant une antenne d'une capacité de $\frac{1}{5\,000}$ microfarad, chargée à 15 000 volts, à raison de 50 périodes par seconde — tension qui correspond à peu près à une étincelle de 5 millimètres — l'énergie transmise au fil aérien sera alors :

$$\frac{1}{2} CV^2 = 1{,}12 \text{ watt,}$$

dont 90 p. 100, c'est-à-dire 1 watt est rayonné ; cette quantité d'énergie est suffisante pour faire fonctionner un bon récepteur à une distance de 100 milles. Toutefois, pour communiquer à l'antenne cette quantité d'énergie il faut une bobine d'induction, alimentée par un courant de 10 ampères sous une tension de 16 volts, c'est-à-dire une puissance de 160 watts. Par conséquent et quoique le rendement de l'antenne puisse être considéré comme élevé, il y a une très grande perte occasionnée et par la bobine d'induction et par l'arc qui accompagne l'étincelle. De ceci on peut conclure que le seul moyen d'obtenir un meilleur rendement des installations radiotélégraphiques, c'est de produire des décharges oscillantes au moyen d'appareils qui ont un rendement plus élevé que les bobines d'induction.

CHAPITRE III

PROPAGATION DES ONDES ÉLECTRIQUES

Force électrostatique et électromagnétique. — Pour se représenter les ondes électromagnétiques, émises dans l'espace par une décharge oscillante, imaginons une sphère à diamètre variable qui, mise en vibration, se dilate et se contracte à des intervalles réguliers. Ces vibrations se communiqueront à l'air ambiant, y

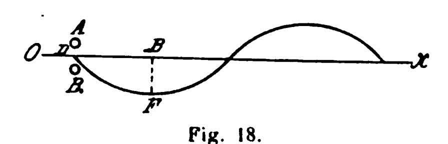


Fig. 18.

apporteront des dilatations et des contractions et ainsi feront naître des ondes sphériques. Si nous appliquons cette idée aux ondes électromagnétiques, nous pouvons nous représenter, comme cas le plus simple, deux conducteurs chargés, entre lesquels se produit une décharge oscillante. En ne tenant compte que de ce qui a lieu à une grande distance de l'origine des ondes, nous pouvons considérer les deux conducteurs comme deux points A et B (fig. 18). Dans la direction OX la ligne BF, à un instant donné de la décharge, représentera la force électrique en direction et en grandeur. En reliant les extrémités des ordonnées qui représentent la grandeur de la force électrique au même instant, on obtient la sinusoïde de la figure ; en avançant cette ligne sur OX avec une vitesse égale à la vitesse de propagation des ondes électriques, on pourra se représenter comment la force électrique varie avec le temps. Veut-on prendre en considération l'amortissement, on se représentera l'amplitude des ondes diminuant dans le déplacement en avant le long de la ligne OX.

Si par les décharges électriques il se produit une force électrique, variant périodiquement, il se produira par l'intensité alternative du courant une force magnétique, variant aussi périodiquement. Comme nous l'avons déjà fait remarquer, cette dernière force sera perpendiculaire à la première et aura par rapport à l'autre une différence de phase de 90°. Dans la figure 18, il faut nous représenter la courbe, qui à un moment donné représente la force magnétique, perpendiculaire au plan du dessin et déplacée sur une distance de DB par rapport à la courbe AFX. De la même façon, on peut se faire une idée du mode dont la force magnétique varie avec le temps.

La propagation de la force électrique et de la force magnétique n'a pas lieu seulement le long de la ligne OX mais le long de toutes les directions partant de B, et dans chacune de ces directions les deux forces seront perpendiculaires l'une à l'autre et dans un plan normal à la direction de propagation considérée.

En remplaçant dans l'exemple de la sphère la pression de l'air par la force électrique et magnétique, on se représentera les ondes électromagnétiques sphériques qui sont produites par une décharge oscillante entre les deux conducteurs A et B. Pour fixer les idées, nous avons admis que le champ électrique E_1 est seulement produit par la charge de l'oscillateur et le champ magnétique par le courant dans l'oscillateur. En réalité, la chose est plus compliquée. Car le champ magnétique M_1 engendre à son tour un champ électrique E_2 et le champ électrique E_1 provoquera un champ magnétique M_2 qui produira un champ électrique E_3, de sorte qu'à la fin le champ magnétique résultant sera déterminé par M_1 et M_2 et le champ électrique résultant par E_1, E_2 et E_3. Si on se rappelle maintenant, comme on peut le montrer théoriquement, que E_1 est inversement proportionnel au cube de la distance, E_2 au carré et E_3 à la première puissance, il suit de là que pour de petites valeurs de la distance, par conséquent dans la proximité immédiate de l'oscillateur, le champ électrique est principalement déterminé par E_1. Pour un oscillateur de Hertz, les lignes de force auront le même parcours que pour une charge constante des deux boules de l'oscillateur. Dans les points éloignés cependant, E_3 sera prépondérant, l'intensité du champ électrique dépendra là

pratiquement seulement de E_3 et celle du champ magnétique de M_3. De là cette conclusion importante : à grande distance de l'oscillateur, l'intensité du champ électrique et celle du champ magnétique sont inversement proportionnelles à la distance.

Pour l'intensité des deux champs dans les points situés à grande distance de l'oscillateur, Hertz a donné les relations suivantes :

$$E = \frac{\sqrt{\pi\mu}}{2\nu} \times \frac{l}{\frac{\lambda}{2}} \times \frac{i_{max}}{r} \cos\psi$$

$$M = \frac{\sqrt{\pi\varepsilon}}{2\nu} \times \frac{l}{\frac{\lambda}{2}} \times \frac{i_{max}}{r} \cos\psi$$

dans lesquelles :

μ = la perméabilité du milieu ambiant ;

ε = la capacité inductive spécifique du milieu ambiant ;

l = la longueur de l'oscillateur ;

λ = la longueur d'onde de l'oscillateur ;

i_{max} = l'intensité maxima du courant dans l'oscillateur ;

r = la distance du point considéré au centre de l'oscillateur ;

ψ = l'angle que fait la ligne, tirée du point considéré au centre de l'oscillateur, avec le plan horizontal passant par le centre.

Théorie de Hertz. — Hertz, en son ouvrage intitulé : « Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft », dans ses considérations sur les forces produites par les vibrations électriques (p. 147 et suiv.) partait des équations de Maxwell.

Pour un oscillateur avec une sphère métallique à l'extrémité de chaque fil (fig. 3) la répartition de la force électrique dans l'espace était déterminée et représentée graphiquement en des temps comptés à partir du commencement de la décharge, pour $t = 0, 1/4\,T$, $1/2\,T$ et $3/4\,T$. Au moment où $t = 0$ (fig. 19) les sphères ne sont pas encore chargées, il ne se présente pas encore de lignes de force. Après un temps $t = 1/2\,T$ (fig. 21), la charge est un maximum ainsi que le nombre des lignes de force. Si t devient plus grand, il ne se produit plus de lignes de force ; celles qui sont présentes commencent à se retirer dans le conducteur pour y disparaître comme lignes de force électriques et transformer leur énergie en

énergie magnétique. En même temps (fig. 22), il se produit un phénomène particulier, parce que les lignes de force électriques qui se sont le plus éloignées du centre de l'oscillateur, en s'efforçant de se rejoindre, subissent une courbure latérale et avec l'augmentation de cette courbure, des lignes de force fermées sur elles-mêmes, se détachent et se propagent dans l'espace, tandis que les autres rentrent dans le conducteur. Le nombre des lignes de force qui rentrent dans le conducteur est égal au nombre de celles

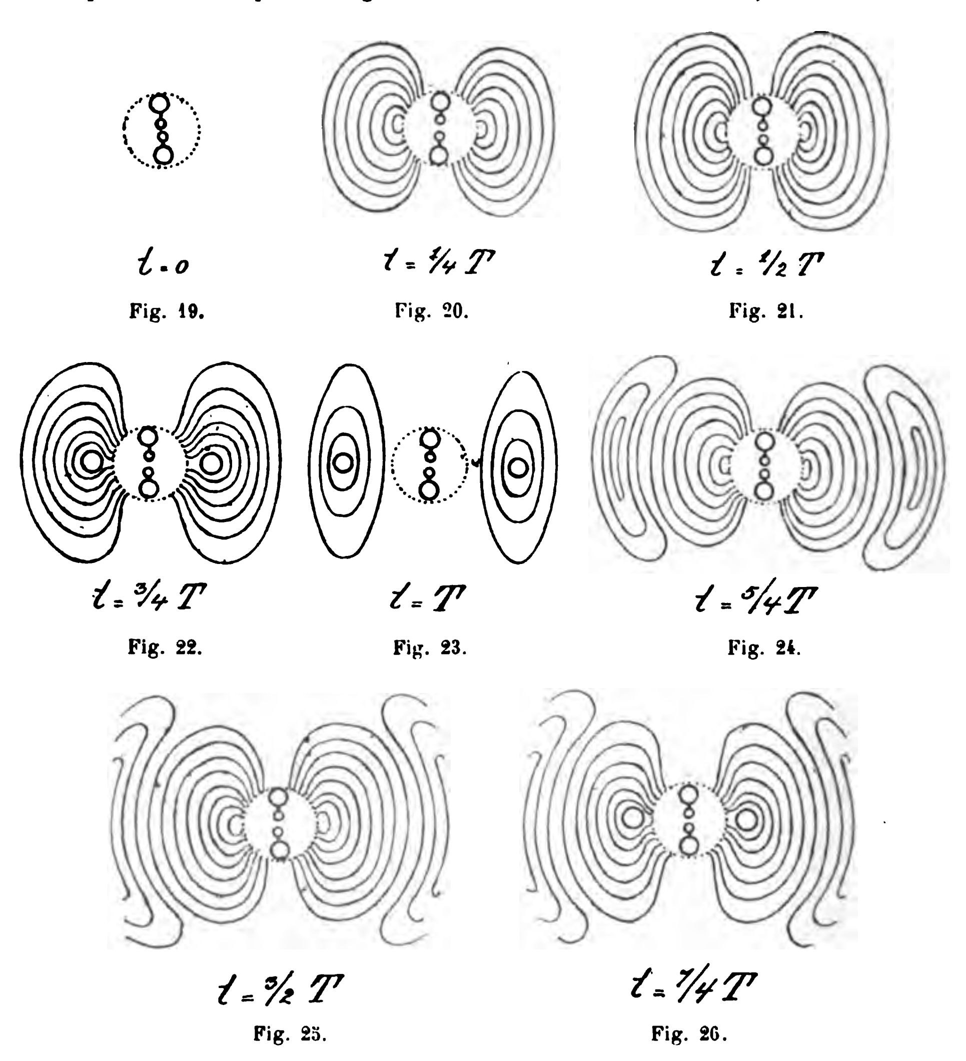


Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21. Fig. 22. Fig. 23. Fig. 24. Fig. 25. Fig. 26.

qui en sortent, l'énergie est cependant diminuée par celle des parties détachées et c'est cette partie qui représente le rayonnement dans l'espace et qui doit être considérée comme l'énergie utile dans la télégraphie sans fil. Au moment de $t = T$ (fig. 23), les lignes de force sortant des sphères ont disparu à nouveau, tandis que celles qui ont été détachées poursuivent leur chemin pour être suivies d'autres détachées après un temps de $t = \frac{7}{4}$ T (fig. 26).

Si ce qui précède se rapporte au plan du dessin, on peut aussi le dire pour tous les autres plans passant par l'oscillateur ; de sorte que tout l'ensemble des lignes de force électriques aura la forme de surfaces hémisphériques. A une grande distance de l'oscillateur, c'est-à-dire lorsque le rayon de ces sphères est très grand, on peut considérer un élément de ces lignes de force comme ligne droite et chaque élément de surface comme plan.

On a déjà dit que le champ magnétique d'un oscillateur de Hertz se compose de deux parties. Les lignes de force de celle de ces parties qui doit son origine au courant dans l'oscillateur, seront des cercles dont l'axe est l'axe de l'oscillateur. Les lignes de force de l'autre partie, engendrée par le champ électrique E_1, auront un parcours de même forme. A une grande distance de l'oscillateur, les rayons de ces cercles seront très grands et on peut considérer un élément de ces lignes de force comme ligne droite et l'onde magnétique, sur des surfaces de sphères pas trop grandes, comme une onde plane.

Remarquons encore que les figures retracées ci-dessus se rapportent au cas où l'amortissement est négligé. MM. Pearson et Lee[1] ont recherché par voie théorique quel serait le parcours des lignes de force électriques si l'on tenait compte de l'amortissement ; les figures tracées par eux ne diffèrent pas en principe de la figure 26.

Théorie de Blondel. — Selon M. Blondel, le cas où une antenne est reliée à une des boules de l'excitateur et l'autre boule à la terre, est de la même nature que l'oscillateur de Hertz ; on peut se représenter que cette antenne sera allongée de l'autre côté par un

[1] *Phil. Trans. of the Royal Soc. of London*, Ser. A. vol. 193, 1900, p. 159.



fil de même longueur, et par rapport à la surface de la terre, ce deuxième fil peut être considéré comme l'image électrostatique de l'antenne. Le champ qui peut se produire au moyen d'une antenne pareille est égal à celui qui est engendré par un petit oscillateur rectiligne de Hertz. La seule différence qui existe, c'est que dans une antenne la capacité est répartie d'une manière uniforme sur toute la longueur ; cependant on peut se représenter cette capacité remplacée par une autre qui est concentrée à l'extrémité du fil.

Les lignes de force détachées se meuvent dans l'espace comme des ondes libres et par la présence de la terre celles qui se trouvent au-dessus de celle-ci se maintiennent seules. Comme les lignes de force s'efforcent toujours de s'étendre dans toutes les directions, elles augmentent en hauteur et dans ce cas la terre peut être considérée comme une surface conductrice. A quelque distance du conducteur, selon M. Blondel, elles deviennent hémisphériques, elles se propagent alors transversalement avec la vitesse de la lumière. Dans la proximité du conducteur elles obéissent à des lois plus compliquées, elles n'ont pas encore la forme sphérique et leur vitesse n'est pas égale à celle de la lumière.

A l'aide des équations établies par M. Abraham [1] on peut tracer, pour des oscillations non amorties, le champ d'une antenne rectiligne et les figures dessinées par M. Hack [2] montrent que, dans ce cas aussi, le parcours général des lignes de force électriques est à peu près le même que pour un oscillateur de Hertz. On peut se faire une image approchée des ondes émises par une antenne dont l'une des boules de l'excitateur est mise à la terre, quand on se représente la figure 20 coupée en son milieu par une ligne horizontale et qu'on enlève la moitié inférieure.

Quant aux expressions de l'intensité du champ électrique E et de celle du champ magnétique M dans les points situés dans le plan horizontal passant par les boules de l'excitateur (par conséquent $\psi = o$) et à grande distance de l'antenne, on peut les déduire, pour une antenne dont l'une des boules est mise à la terre, des relations déjà données à la page 51, pour l'oscillateur de Hertz. D'ailleurs la longueur de l'antenne étant la moitié de celle de

[1] *Ann. d. Phys. Bd.* 66, 1898, S. 435.
[2] *Ann. d. Phys. Bd.* 14, 1904, S. 539.

l'oscillateur de Hertz, il faut substituer $l = \frac{\lambda}{4}$ et i_{max} = l'intensité efficace ou $\frac{2}{\pi}\, i_{max}$, de sorte que ces relations seront :

$$E = \frac{\sqrt{\pi\mu}}{\pi\nu} \times \frac{i_{max}}{r}$$

et

$$M = \frac{\sqrt{\pi\varepsilon}}{\pi\nu} \times \frac{i_{max}}{r},$$

d'où nous pouvons tirer cette conclusion importante que les valeurs de l'intensité du champ électrique et de celle du champ magnétique pour les points situés à grande distance de l'antenne, sont seulement dépendantes de l'amplitude du courant dans l'antenne.

Rayonnement. — M. Poynting a tiré d'une équation établie par lui, l'hypothèse suivante : l'énergie se propage toujours à travers le champ électromagnétique dans une seule direction perpendiculaire aussi bien à la direction de la force électrique et à celle de la force magnétique et à travers chaque élément d'un plan, perpendiculaire à la direction de propagation, il passe par unité de temps une quantité d'énergie égale au produit de E. M par le sinus de l'angle entre E et M et divisé par 4π. Soient maintenant dans la figure 27 E un vecteur qui représente en un certain point O assez éloigné d'une antenne rectiligne, l'intensité du champ électrique, et M le vecteur de l'intensité du champ magnétique ; le vecteur R sera alors la direction du rayonnement et d'après l'hypothèse de Poynting le tenseur $\frac{EM}{4\pi}$ de ce vecteur représentera l'énergie qui passera dans l'unité de temps par un élément de surface perpendiculaire à R. Pour déterminer la direction du rayonnement, on peut se servir de la règle des trois doigts ; si le pouce de la main droite est tourné dans la direction de E et l'index dans celle de M, le médius, pourvu qu'il soit placé perpendiculairement au plan des deux autres doigts, indiquera la direction positive du rayonnement.

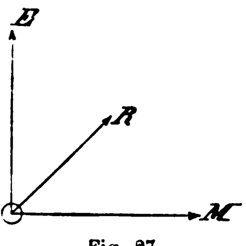


Fig. 27.

Considérons d'abord le rayonnement dans la proximité immédiate de l'oscillateur. Comme nous l'avons déjà fait remarquer, dans ce cas, l'intensité du champ électrique est principalement déterminée par E_1 et celle du champ magnétique par M_1 et comme il y a entre les deux une différence de phase de 90°, après chaque quart de période le produit $E_1 M_1$ changera de signe, en d'autres termes, l'énergie se mouvra périodiquement de l'oscillateur dans l'espace et de l'espace vers l'oscillateur. Toutefois, à grande distance de l'oscillateur, l'intensité du champ électrique est principalement déterminée par E_3 et celle du champ magnétique par M_2. De la manière dont se produisent les champs électriques E_1, E_2 et E_3 et les champs magnétiques M_1 et M_2, on peut facilement déduire que E_3 et M_2 sont toujours en concordance de phases ; le produit $E_3 M_2$ sera donc toujours positif, en d'autres termes, à grande distance de l'oscillateur il y a toujours rayonnement d'énergie dans l'espace.

Des expressions trouvées à la page 55 pour E et M, il ressort en outre que le rayonnement d'énergie à grande distance d'une antenne est inversement proportionnel au carré de la distance. Les recherches de MM. Duddell et Taylor (p. 62) qui ont trouvé par voie empirique que l'intensité du courant dans une antenne réceptrice était inversement proportionnelle à la première puissance de la distance confirment ce qui précède. Toujours est-il que la tension suivra la même loi, de sorte que le produit de l'intensité du courant et de la tension — l'énergie reçue — est inversement proportionnel au carré de la distance.

Ce qui précède explique également pourquoi un circuit oscillant ouvert est particulièrement favorable à un grand rayonnement, tandis qu'un circuit fermé ne rayonne que peu d'énergie ou même point du tout. Si l'on se représente par exemple un oscillateur de Hertz à courants quasi-stationnaires[1] composé de différentes parties élémentaires, on pourra considérer dans un point éloigné P séparément les forces électriques et les forces magnétiques pro-

[1] On appelle courants quasi-stationnaires, des courants à intensité variable dont la durée des variations, c'est-à-dire la période pour les courants alternatifs, est grande en comparaison avec le temps nécessaire aux vibrations électromagnétiques pour parcourir le chemin entre les deux points les plus éloignés du circuit.



duites par chaque petit élément. Comme les distances de chaque élément de courant au point éloigné P peuvent être considérées comme égales, l'intensité du champ résultant sera à peu près égale à la somme des intensités des champs produits par chaque élément. Les intensités des champs électrique et magnétique seront donc toutes deux grandes ainsi que le produit des deux, qui peut être considéré comme mesure de la quantité d'énergie radiée. Qu'on se représente au contraire un circuit condensateur fermé, également à courants quasi-stationnaires et partagé de la même manière en petits éléments (fig. 28). A chaque élément *a* corres-

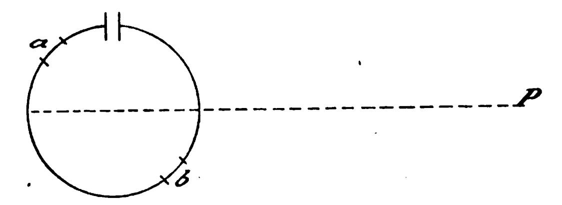


Fig. 28.

pond un élément *b* dans lesquels les courants, vus du point P, ont une direction opposée, de sorte que les champs produits par chacun de ces deux éléments auront à leur tour une direction opposée et se détruiront à peu près. Ceci s'applique également aux autres éléments de courant, de sorte que l'intensité résultante des champs électrique et magnétique, à grande distance de l'oscillateur, sera très petite et par le fait aussi le rayonnement.

Remarquons en outre que de ce que R est perpendiculaire à E et à **M** (fig. 27) il s'ensuit que dans un milieu homogène et isotrope les ondes électromagnétiques sont des ondes transversales. Et comme en chaque point les champs électrique et magnétique sont des champs à renversement périodique, on peut dire, comme en optique, que les ondes électromagnétiques sont des ondes à polarisation rectiligne. Ce fut également Hertz[1] qui montra expérimentalement la justesse de ce fait.

Vitesse de propagation. — La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu non conducteur est déter-

[1] Hertz. *Untersuchung über die Ausbreitung der elektrischen Kraft.* 1892, S. 190.

minée par la formule bien connue :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}},$$

dans laquelle :

ε = la capacité inductive spécifique du milieu
μ = la perméabilité du milieu;
cette vitesse est donc indépendante de la fréquence.

Si les ondes se propagent dans l'air, on prendra dans le système électrostatique $\varepsilon = 1$, et dans le système électromagnétique $\mu = 1$.

Par suite de la relation entre les deux systèmes d'unités, v sera égal à :

$$3 \times 10^{10} \text{ cm.},$$

c'est-à-dire la vitesse de propagation de la lumière.

Nous avons admis (p. 22) la même valeur pour la vitesse de propagation des ondes électriques le long des fils. Ceci toutefois n'est juste que s'il s'agit de fils droits dans lesquels se propagent des ondes de haute fréquence, comme il s'en produit dans la télégraphie sans fil. On peut montrer[1] que dans ce cas la vitesse de propagation est :

$$v = \frac{1}{\sqrt{C_1 L_1}}$$

où C_1 et L_1 sont respectivement la capacité et la self-induction du fil par unité de longueur. Pour un fil dont la longueur l est grande par rapport au rayon r on a pour de hautes fréquences :

$$C_1 = \frac{1}{2 \log_e \frac{l}{r}}$$

en unités électrostatiques, et

$$L_1 = 2 \log_e \frac{l}{r}$$

en unités électromagnétiques.

Si nous remarquons qu'en multipliant par $(3 \times 10^{10})^{-2}$ on obtient C_1 en unités électromagnétiques, il s'ensuit que la vitesse de pro-

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1902, S. 319.

pagation v est toujours égale à 3×10^{10} cm. Ceci a été confirmé expérimentalement par M. Sommerfeld[1] entre autres.

MM. Trowbridge et Duane[2] constatèrent à l'aide d'ondes stationnaires engendrées dans des fils de Lecher (p. 15) qu'ici également la vitesse de propagation était la même que celle de la lumière. Pour une fréquence de 5×10^6 on trouva une vitesse moyenne de $3{,}003 \times 10^{10}$ cm. par seconde, alors que les meilleures mesures de la vitesse de la lumière ont fourni une valeur moyenne de $2{,}999 \times 10^{10}$ cm. par seconde.

Les relations précédentes de C_1 et L_1 seront pourtant en défaut pour des bobines, parce que là L_1 est beaucoup plus grand et c'est pour cette raison que les ondes de haute fréquence se propagent dans les bobines avec une vitesse moindre.

Cependant le cas est tout autre, lorsque nous entrons dans le domaine des faibles fréquences, par exemple 500 par seconde et moins. La formule ci-dessus ne serait alors pas applicable; la vitesse de propagation est ici dépendante pour une forte part de la fréquence ainsi que du matériel et du diamètre des fils. Avec deux fils de cuivre, par exemple de 1 millimètre de diamètre, tendus à 30 centimètres de distance l'un de l'autre, on trouvera à raison de 50 périodes par seconde une vitesse de propagation de $0{,}7 \times 10^{10}$ cm., vitesse considérablement inférieure à celle de la lumière.

Inégalités sur la surface de la terre. — Les ondes électromagnétiques émises par un oscillateur n'induisent pas de courants dans la surface de la terre, excepté quand cette surface ne s'unit pas avec le plan équatorial du système : antenne-terre-image. Sur les points où la surface forme un angle avec ce plan équatorial la composante de la force électrique qui est parallèle à cette surface, y induira un courant qui se perd sous forme de chaleur. La composante active restante de la force électrique est donc perpendiculaire à la surface de la terre. La première composante pourra produire une onde réfléchie se propageant perpendiculairement à

[1] *Ann. der Phys. Bd.* 67, 1899, S. 233.
[2] *The Electrician*, Sept. 27, 1895, p. 712.



la surface. La composante de la force magnétique qui est normale à cette surface, y induira un courant, dont l'énergie sera transformée en partie en chaleur, en partie en une onde réfléchie qui se propagera perpendiculairement à la surface. La composante active de la force magnétique sera donc parallèle à la surface de la terre.

Comme la direction de propagation des ondes électromagnétiques doit être normale et à la force électrique et à la force magnétique, cette direction sera parallèle à la surface de la terre. Il s'ensuit que les ondes électromagnétiques, pendant leur propagation dans l'espace, se courberont aux inégalités de la terre. qu'elles rencontreront, elles suivront donc la courbure de la terre On explique par là, que les transmissions sont beaucoup plus faciles à effectuer sur mer que sur terre, surtout lorsque le pays est montagneux ou boisé. De nombreuses expériences ont affirmé ce phénomène.

Entre New-York et Philadelphie (distance 100 kilomètres) qui ont été réliés par la télégraphie sans fil d'après le système Fessenden, on échangeait journellement 40 télégrammes sans que les hautes maisons, qui y sont nombreuses, apportent aucune perturbation.

La « Forest Wireless Telegraph C° » avait fondé à l'Exposition de Saint-Louis 7 stations dont l'une destinée pour grandes distances, entre autres pour Chicago et Kansas City. Dans la première station on avait édifié un màt de 64 mètres de haut; à une branche transversale 20 fils furent fixés. Pour transmettre des nouvelles à Chicago, qui est à une distance de 300 milles, les ondes électriques devaient traverser toute la ville avec ses nombreux bâtiments construits en fer, ses hautes maisons, ses chemins de fer aériens, etc.; cependant les signaux arrivaient si distincts que la limite de la distance de communication n'était pas encore atteinte.

M. Marconi réussit à transmettre des télégrammes de la station de Poldhu à celle d'Ancône en Italie et dans ces expériences les ondes avaient à franchir une distance de 1 800 kilomètres en grande partie par terre en passant au-dessus des plus hautes montagnes des Alpes.

Diffraction. — On peut montrer que les ondes électromagné-

tiques présentent le phénomène de diffraction aussi bien que les rayons de lumière. Si l'on place devant un oscillateur une paroi de métal munie d'une fente, un résonateur apporté devant cette fente ne montre aucune action alors qu'on aurait pu s'attendre à un maximum d'effet. Comme les ondes hertziennes ont une longueur beaucoup plus grande, le phénomène de la diffraction s'y montrera beaucoup plus fortement que chez les ondes lumineuses; c'est par là qu'on pourrait aussi expliquer comment la courbure de la surface de la terre n'empêche pas la propagation des ondes. Quand il se trouve entre deux stations, comme dans les cas ci-dessus, des bâtiments de formes excentriques et très élevés, il nous semble que le phénomène de diffraction n'explique pas suffisamment le bon résultat que l'on a obtenu dans les cas cités.

Hauteur des antennes. — En ce qui concerne l'influence que peut avoir la hauteur des antennes sur la distance à laquelle on peut transmettre des signaux, M. Marconi trouva expérimentalement que le rapport qu'il y avait entre cette distance et la hauteur de l'antenne était $H = a\sqrt{D}$; H est la longueur de l'antenne en mètres, D la distance de communication en mètres et *a* une constante, dépendant des appareils employés. On trouva par des recherches qu'on effectua plus tard et parmi lesquelles celles de MM. Duddell et Taylor excellent par leur importance et leur exactitude, que cette loi, nommée quelquefois dans les livres « loi de Marconi », n'était pas exacte. Ces chercheurs étudièrent l'influence d'une variation en longueur de l'antenne transmettrice, qui était placée verticalement, sur l'intensité du courant dans l'antenne réceptrice, intensité mesurée au moyen d'un thermo-galvanomètre Duddell (p. 165). En ne modifiant pas les autres facteurs des dispositifs de transmission et de réception, on s'aperçut que le courant dans le récepteur était presque exactement proportionnel à la hauteur du fil aérien du transmetteur[1].

En modifiant dans le poste de réception seulement la longueur de l'antenne verticale et en ne variant rien dans le poste de trans-

[1] *The Electrician*, June 2, 1905, p. 260.

mission, on remarqua que dans ce cas cette proportionnalité n'existait plus, quoiqu'il y eût une fonction linéaire entre la hauteur de l'antenne de réception et l'intensité du courant dans cette antenne [1].

Loi de Duddell et Taylor. — L'intensité du courant dans une antenne réceptrice est, à peu près, inversement proportionnelle à la distance des antennes de transmission et de réception. Quelque étrange que paraisse cette loi près d'autres phénomènes physiques qui décroissent proportionnellement au carré de la distance, les recherches précitées de MM. Duddell et Taylor ne laissent plus de doute à ce sujet (voy. aussi p. 56). Dans leurs expériences, on a maintenu constantes toutes les grandeurs, aussi bien dans la station transmettrice que dans la station réceptrice, pour ne faire varier que la distance entre les deux postes en déplaçant le poste de transmission. Bien que la loi précédente, dite loi de Duddell et Taylor, ait été établie sur des distances relativement petites, les expériences de M. Tissot[2] semblent prouver qu'elle est aussi juste pour de plus grandes distances de communication (40 kilomètres).

M. Erskine-Murray [3] a essayé de montrer l'exactitude de la loi de Duddell et Taylor avec l'hypothèse que la propagation des ondes électriques dans l'espace est entravée par la présence d'une couche d'air bonne conductrice qui se trouve à une distance de 6 milles au-dessus de la surface terrestre et qui s'étend sur une épaisseur de 60 milles.

Antennes verticales et horizontales. — De bonne heure déjà, on s'était convaincu par expérience que les meilleurs résultats étaient obtenus au moyen d'un dispositif vertical des antennes de transmission et de réception. Les expériences de MM. Jehenne et Martin[4] avec des antennes non verticales prouvent que l'on peut obtenir une communication mais à une plus petite distance. Ils se servirent de fils de 60 mètres de longueur, l'un placé verticalement,

[1] *The Electrician, June* 9, 1905, p, 299.
[2] *Ibid.*, March 9, 1906, p. 849.
[3] *Ibid.*, December 15, 1905, p. 357.
[4] *L'Electricien*. t. XXVI, 1903, p. 372.

l'autre horizontalement. M. Slaby, dans une conférence sur la télégraphie sans fil, décrivit un essai fait en 1898, où il tendit horizontalement l'antenne de transmission et celle de réception, longues chacune de 100 mètres et à environ 2 mètres du sol; de cette manière il put recevoir à 3 kilomètres des signaux corrects. M. Strecker[1], en 1898, fit des expériences dans les environs de Berlin pour étudier les conditions dans lesquelles on pouvait utiliser des fils tendus horizontalement. Il se servit de fils de 100 mètres de long tendus à $\pm$ 9 mètres au-dessus du sol; il atteignit par là une distance de communication de 5,7 km.

Comme nous verrons au chapitre VIII, de récentes expériences faites au moyen d'antennes horizontales, dans le but d'envoyer des ondes dans une certaine direction donnée, ont de nouveau attiré l'attention.

Les arbres comme antennes. — M. le major Squier[2] du Signal Corps des États-Unis trouva que les arbres vivants pouvaient aussi servir d'antennes. Les arbres avec leur tiges dressées verticalement remplissaient parfaitement le rôle de conducteurs aériens; il suffisait d'entourer le tronc d'une ceinture métallique reliée aux appareils pour pouvoir établir un poste en quelques minutes. M. Squier réussit ainsi à transmettre des messages entre San-Francisco et Benicia Barracks, distants de 60 kilomètres.

Prise de terre. — Dans la plupart des expériences on a toujours constaté qu'une bonne prise de terre était nécessaire, tant dans la station de transmission que dans celle de réception. M. Marconi au début relia chacune des boules de l'oscillateur à un fil, sans aucune prise de terre. Il reconnut bien vite que la distance de communication pouvait être considérablement augmentée en mettant une des boules en communication avec le sol. Pour expliquer cela il faut admettre que l'action à distance dépend exclusivement de l'énergie communiquée à l'antenne qui dans ce cas est à peu près deux fois plus grande que dans l'ancien arrangement de Marconi.

[1] *Elektrotech. Zeitschr.*, 1898, S. 845.
[2] *Electrical World and Engineer*, Jan. 14, 1905, p. 90.

M. Kimura, dans la *Phys. Zeitschr*, 1901, page 571, décrivit des expériences faites par l'Amirauté du Japon, pour étudier l'influence d'une prise de terre. On expérimenta des plaques de terre en différents métaux; on constata que l'intensité des signaux dépendait de la grandeur et de la capacité des plaques.

M. Ferrié[1] démontra expérimentalement que pour de petites distances de 35 à 40 kilomètres, on pouvait se passer de prise de terre à la station de réception. Sur une distance de 40 kilomètres il obtint encore des signaux sans prise de terre mais à une distance plus grande il n'en obtint plus ; en faisant une prise de terre les signaux franchissaient une distance de 80 kilomètres. L'avantage d'une prise de terre au poste récepteur c'est qu'une des bornes du cohéreur a toujours le potentiel *o* ; le cohéreur est par conséquent sensible à la plus petite variation du potentiel occasionnée par les ondes dans l'antenne de réception. M. Ferrié démontra encore qu'en supprimant les prises de terre dans les deux postes, la possibilité de correspondre existait encore ; dans ce cas les antennes réceptrices et transmettrices étaient reliées à des plaques de métal, isolées de la terre. M. le comte Arco et d'autres réussirent de même à échanger des messages avec des récepteurs qui n'étaient pas reliés à la terre. Dans des expériences faites en 1899 à l'armée autrichienne et plus tard aussi à l'armée française, les appareils récepteurs se trouvaient placés dans un ballon d'où pendait une antenne réceptrice, non reliée à la terre. L'antenne de transmission, portée par des ballons, avait à l'armée autrichienne 150 mètres de longueur, à la française 40 mètres. La plus grande distance de communication atteinte pour les Français était de 6 kilomètres ; le ballon était avec les appareils récepteurs à une hauteur de 800 mètres au-dessus de la surface de la terre. Chez les Autrichiens la communication ne cessa que quand le ballon fut à 1 600 mètres de hauteur et à une distance de 10 kilomètres de la station de transmission. MM. Duddell et Taylor[2], en 1904, firent des expériences dans les environs de Londres, où on chercha entre autres l'influence de la prise de terre sur l'intensité des signaux reçus. Dans la station de transmission et de réception

[1] *L'Eclairage électrique*, t. XXXII, 1902, p. 282.
[2] *The Electrician*, June 2, 1905, p. 258.

la mise à la terre était faite au centre d'une pièce de toile métallique en fil de fer galvanisé, mesurant 22,8 m. de longueur sur 1,15 m. de large, posée à plat sur le sol. L'extrémité inférieure de l'antenne, qui était placée verticalement, était fixée au milieu de ce treillis. On trouva que seule la partie milieu dans le voisinage du fil de terre était active; les parties placées en dehors n'avaient pas une influence sensible sur les résultats obtenus. Il s'en suivrait, qu'il serait préférable d'employer pour prise de terre une pièce de toile métallique en forme de cercle au centre duquel le fil de terre serait fixé.

Les chercheurs nommés utilisaient aussi pour prise de terre l'enveloppe de plomb d'un câble téléphonique souterrain armé. On trouva que l'intensité du courant dans l'antenne réceptrice était dans ce cas de 60 p. 100 de celui qu'on avait observé à la prise de terre avec le treillis.

La prise de terre joue un grand rôle dans la télégraphie sans fil syntonisée. Prenons par exemple une antenne mise à la terre accordée avec un circuit-condensateur fermé. S'il se présente maintenant d'une manière ou d'autre une mauvaise terre, il se produira des ondes supérieures, par suite de la réflexion de l'onde fondamentale et il y aura en outre absorption des ondes. Il en sera de même pour l'antenne réceptrice s'il y a également là une mauvaise terre. Là où l'on dispose d'une résistance de terre bien constante, comme par exemple pour les stations de bord, on applique presque toujours une prise de terre. Toutefois dans les stations côtières où la terre est mauvaise conductrice et où la nature de la terre pourrait faire craindre une variation de la résistance de celle-ci, il est recommandable de travailler sans prise de terre. On pourra alors fixer à l'extrémité inférieure de l'antenne un faisceau de fils isolé du sol, qui formera avec la terre un condensateur d'une certaine capacité et auquel on a donné le nom de « contrepoids ». Toutefois M. Burstyn[1] a montré que même alors les pertes d'énergie dans la terre sont inévitables. Cependant on doit noter comme avantage du « travail sans terre » une diminution considérable des perturbations atmosphériques dans le circuit-récepteur.

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1906, S. 1117.

La « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie » emploie le contrepoids dans beaucoup de ses postes terrestres et dans tous ses postes transportables, tandis que dans le système Lodge-Muirhead tous les postes sont équipés de cette manière.

Il faut toujours éviter de donner au fil de terre une trop grande longueur et si le poste a été élevé sur un rocher il vaudra mieux y enterrer de grandes plaques de terre que de conduire un fil de terre à la mer ; les signaux peuvent même rester complètement absents avec des fils de terre trop longs. Cela a été prouvé par des expériences effectuées entre les stations de Calvi et de Biot ; celle de Calvi est édifiée sur un terrain rocheux. M. Marconi constata la même chose déjà en 1897 dans ses essais à Lavernock Point en Angleterre. La station réceptrice était bâtie sur un rocher et pour fil de terre on conduisit à la mer un fil d'environ 18 mètres de longueur ; on ne reçut pas de signaux, mais quand on porta les appareils récepteurs au pied du rocher la communication devint immédiatement possible, car on put y faire une prise de terre directe.

MM. Tissot et Ferrié [1] constatèrent un phénomène tout particulier que nous relatons ici : ils trouvèrent qu'on obtenait les meilleurs résultats quand l'antenne de transmission était reliée au pôle négatif de la bobine d'induction, quoique l'étincelle excitatrice obtenue soit alors plus courte que lorsqu'il y a liaison entre le pôle positif et l'antenne. Nous ferons remarquer qu'il n'est pas tout à fait juste de parler d'un pôle positif et d'un pôle négatif. L'on pourrait dire qu'une des bornes secondaires est si considérablement plus positive, que le courant dans bien des cas peut être considéré comme unidirectional ; la direction du courant primaire déterminera quel pôle ce sera.

Perturbations atmosphériques. — L'électricité atmosphérique est une cause de trouble pour la télégraphie sans fil ; par elle on enregistre parfois dans les appareils récepteurs des points et des traits, en raison desquels les radio-télégrammes peuvent devenir illisibles.

[1] *L'Eclairage électrique*, t. XXXII, 1902, p. 282.

M. Ferrié [1] distingue les perturbations atmosphériques en trois catégories :

1° Des décharges oscillantes, occasionnées par des coups de foudre. Cet effet se fait sentir sur les appareils récepteurs à des distances considérables. Les signaux enregistrés par l'appareil de Morse présentent ordinairement un ou deux points, quelquefois des traits quand l'orage est à proximité.

2° Des variations du potentiel entre l'antenne et la prise de terre causées par les variations du champ terrestre ; les signaux qui en résultent sont très irréguliers. On remarque aussi généralement l'apparition de signaux au lever et au coucher du soleil, ce qui peut s'expliquer par la variation brusque du potentiel terrestre.

3° Il paraît exister une certaine relation entre les variations de température et l'apparition des signaux parasites. En Europe, il semble que ces signaux acquièrent leur maximum d'intensité pendant la plus grande chaleur de la journée. Ainsi, lors des expériences de M. Marconi entre Biot et Calvi, que nous avons déjà mentionnées, après dix heures du matin il n'était plus possible de télégraphier à cause des nombreux signaux parasites qui se présentaient et qui duraient jusqu'au soir.

Aussi M. Marconi fit-il ses expériences transatlantiques pendant la nuit. M. de Forest éprouva les mêmes difficultés. Pendant la nuit il pouvait obtenir une bonne communication entre Key-West et Colon (Panama), tandis que pendant le jour l'échange des dépêches laissait beaucoup à désirer.

Au contraire, entre les stations de la Martinique et de la Guadeloupe — la marine française les avait établies lorsque le câble télégraphique à la suite des violentes éruptions du Mont-Pelée avait été rompu — on ne pouvait échanger des radio-télégrammes la nuit, parce que les signaux parasites se présentaient principalement entre le coucher et le lever du soleil. Il résulte donc que la loi, suivant laquelle les signaux parasites dépendent d'une variation de température, n'est pas connue. On a voulu expliquer ce phénomène par la présence d'électrons. M. J.-J. Thomson a démontré que ceux-ci pouvaient absorber des ondes électriques de grande

[1] *L'Electricien*, t. XXVI, 1903, p. 373.

longueur. De l'hypothèse que des électrons sont continuellement émis du soleil, il s'ensuivrait que sur le côté du globe terrestre tourné vers le soleil, les ondes hertziennes se propageront plus difficilement que sur l'autre côté du globe.

M. le capitaine Wildman[1] du Signal Corps des États-Unis a fait des observations pendant un an pour suivre l'influence de l'état atmosphérique sur la netteté des signaux recueillis. De ces recherches on peut conclure que l'énergie des ondes reçues diminue à mesure que l'humidité de l'air augmente et que la vitesse du vent croît. Ce fait s'explique, d'après nous, comme suit. Si un vent fort entraîne des particules d'eau, de neige ou de glace de l'atmosphère, de grandes étendues d'air seront surchargées de ces particules conductrices. Or les ondes électriques qui traversent un milieu où se trouvent beaucoup de particules conductrices subissent, comme on sait, une absorption, dont résulte une diminution de l'énergie des ondes reçues.

D'autres encore trouvèrent que par un temps humide et brumeux l'action à distance d'un fil nu était plus grande que par un temps sec et ensoleillé. On peut expliquer ceci en partie par le fait que par un temps ensoleillé l'ionisation de l'air exerce une influence nuisible sur l'action à distance. Par un temps humide et brumeux il se déposera une faible couche d'humidité sur le fil, qui augmentera la capacité du fil, et, d'après M. Slaby[2], c'est ce qui explique d'autre part une meilleure action à distance.

M. Fessenden, avec son système, paraît être peu embarrassé par des influences atmosphériques. Il nous donne comme exemple une communication, établie en 1901 entre le cap Hatteras et Manteo situé sur l'île de Roanoke ; ces deux places sont aussi reliées par un câble télégraphique et téléphonique ordinaire. Le service sur cette ligne fut interrompu pendant vingt-sept jours ; avec son système il n'y eut pas d'interruption. Et lorsqu'en décembre 1904 toutes les lignes téléphoniques et télégraphiques furent interrompues entre New-York, Philadelphie et Washington, les communications radiotélégraphiques de Fessenden furent les seules qui continuèrent à fonctionner. De ces faits M. Fessenden

[1] *The Electrician*, April 6, 1906, p. 1009.
[2] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1905, S. 1005.

tire la conclusion assez optimiste que la télégraphie sans fil surpasse déjà la télégraphie ordinaire en ce qui concerne la sécurité de transmission et la moindre sensibilité pour les influences atmosphériques.

Le meilleur moyen de rester indépendant des perturbations qui peuvent se produire par l'électricité atmosphérique, c'est de se servir d'une grande quantité d'énergie dans la station transmettrice et d'un récepteur pas trop sensible dans la station réceptrice.

Dans le chapitre suivant nous traiterons les différentes sortes de « récepteurs » ; nous entendons par là les appareils qui subissent une variation électrique, chimique ou thermique, quand ils sont actionnés par des ondes électriques.

CHAPITRE IV

RÉCEPTEURS D'ONDES ÉLECTRIQUES

Terminologie. — Le nom de « télégraphie sans fil » est improprement choisi puisque les fils de l'antenne y forment un des éléments essentiels. En Angleterre on parle de « wireless telegraphy », « radio-telegraphy » ou « wave telegraphy » ; en Italie de « Telegrafia senza fili » ou de « radio-telegrafia » ; en Allemagne on se sert souvent du terme « Funken-Telegraphie ». Comme chez nous le nom de « télégraphie sans fil » est d'un usage courant, nous croyons devoir l'admettre ou de dire « radiotélégraphie » ; les télégrammes, envoyés de cette manière, pourraient être appelés des « radiotélégrammes ». Sous le nom de « récepteurs d'ondes électriques », nous entendrons ces appareils qui sont sensibles aux ondes électriques ; par abréviation nous nous servirons du mot « récepteurs », qui correspondra ainsi au mot anglais « wave-receiver ». Le mot kumascope, dérivé du grec « κῦμα » qui signifie « onde », proposé par M. Fleming, n'a pas trouvé faveur ; « radioconducteur » proposé par M. Branly n'est pas non plus d'un emploi général.

Recherches de Hughes. — Hughes constata la sensibilité d'un contact imparfait pour les ondes sonores et ce contact imparfait devint le principal élément pour sa découverte du microphone. En 1879, en faisant des expériences avec ce contact, il découvrit non seulement l'existence d'ondes électriques (p. 8), mais aussi un petit appareil avec lequel la présence de ces ondes pouvait être démontrée. Il trouva que des contacts microphoniques étaient aussi sensibles aux ondes hertziennes ; ces contacts forment encore

les principaux éléments des récepteurs les plus employés, les cohéreurs. Hughes découvrit que les contacts entre des morceaux durs de charbon et d'acier étaient très sensibles et après la disparition des ondes, le contact revenait directement de lui-même dans son état primitif. Quand un contact imparfait entre deux métaux était frappé par des ondes électriques, la conductibilité devenait plus grande; après la cessation des ondes la conductibilité ne diminuait pas, le contact ne rentrait donc pas dans sa position initiale. La sensibilité de pareils contacts pour des ondes électriques fut plus tard encore une fois découverte par M. Branly.

Recherches de Calzecchi-Onesti. — M. Calzecchi-Onesti fut le premier qui fit une recherche systématique sur les variations de résistance de la limaille de cuivre sous l'influence des courants électriques. Il publia les résultats de ses travaux en 1884 et en 1885, dans une revue italienne ; il déclara que dans un circuit fermé, où étaient intercalés un élément et un tube rempli de limaille de cuivre, la résistance diminuait quand le courant était interrompu. Au bout de quelque temps la résistance devenait plus grande et M. Calzecchi-Onesti fit remarquer qu'en tournant un peu le tube autour de son axe, la résistance revenait immédiatement à sa valeur primitive. Par le montage dans le circuit d'une bobine d'une grande self-induction, la conductibilité parut subir encore de plus grandes variations, et c'est pourquoi M. Onesti attribua le phénomène à l'action de l'extra-courant.

Recherches de Branly. — M. Branly, en 1890, fit remarquer que le tube n'étant pas intercalé dans le circuit semblait être sensible aux ondes électriques, engendrées à une certaine distance. Il fit des recherches importantes sur la variation de la résistance par l'influence électrique de différents métaux, tant sous la forme de limaille que de morceaux métalliques qui furent mis sous différente pression. Nous indiquerons ici les principales de ces recherches[1].

La grande résistance du métal en forme de poudre était déjà

[1] *La Lumière électrique*, 1891, t. XL, p. 301 et 506.

connue depuis longtemps; si l'on prend un tube un peu long, rempli de poudre très fine, le courant électrique est complètement arrêté. Comme on le savait déjà, la conductibilité pouvait être agrandie par l'accroissement de la pression. La variation de la conductibilité sous l'influence d'ondes électriques, comme l'a trouvé M. Branly, pouvait être très grande. Si, au commencement, la résistance de la limaille était par exemple de millions d'ohms, elle pouvait redescendre à quelques centaines, si le tube était actionné. M. Branly trouva aussi qu'un courant induit, passant par un circuit où un tube rempli de limaille avait été placé, présentait les mêmes phénomènes. Si l'on prenait une bobine d'induction avec deux enroulements égaux et que le courant primaire fût ouvert et fermé alternativement, le galvanomètre, qui était intercalé dans le circuit secondaire, déviait chaque fois.

Si l'on fait usage d'un courant continu d'une force électromotrice élevée, celui-ci rend la substance sensible aussi conductrice; M. Branly montra ceci en mettant dans un circuit un tube à limaille, une batterie de piles et un galvanomètre. Quand la force électromotrice était de 1 volt, la déviation du galvanomètre était 1 division et si la tension était augmentée jusqu'à 100 volts, le galvanomètre indiquait 500 divisions. La grande conductibilité, qui peut se produire de cette manière, a lieu dans toute la masse de la limaille et dans toutes les directions. Les substances, sur lesquelles M. Branly constata le plus facilement le phénomène d'une diminution de résistance soudaine sont les limailles métalliques de fer, d'aluminium, de cuivre, de laiton, d'antimoine, de tellure, de cadmium, de zinc, de bismuth, etc. La grosseur des grains et leur nature ne sont pas les seuls facteurs qui doivent être pris en considération, car des grains de plomb par exemple de même grandeur, mais de provenance différente, offraient à la même température de grandes différences de résistance, de 20000 à 50000 ohms.

En général, une poudre métallique extraordinairement fine arrêtera complètement le courant électrique, mais si l'on prend un tube court, rempli d'une limaille fine et que l'on y exerce une pression suffisamment grande, il peut arriver qu'il se produise, sous l'action électrique, une brusque augmentation de la conductibilité. Avec un mélange de limaille d'aluminium et de soufre, ou

d'aluminium et de résine en forme de poudre, le courant électrique ne sera pas produit, non plus sous des influences électriques; mais ils deviennent conducteurs sous ces influences, si on les met sous pression.

Voici une autre expérience de M. Branly : il prit deux tiges de cuivre cylindriques, recouvertes d'oxyde, en les soumettant à la flamme d'un bec Bunsen. Ces tiges superposées en croix et chargées de poids pour éviter les variations par trépidations, la mesure de la résistance du contact donna 80 000 ohms; cette résistance passait à 7 ohms après l'influence d'une étincelle électrique. Des effets analogues furent obtenus avec des tiges d'acier oxydées, ou avec une tige d'acier et une tige de cuivre, toutes deux oxydées.

Pour la plupart des matières dont nous avons parlé, une augmentation de température fera diminuer un peu la résistance, mais ce phénomène est passager de nature et infiniment moindre que la diminution sous l'influence des ondes. Pour certaines matières, les variations de résistance, sous l'influence simultanée d'une élévation de température et d'ondes électriques sont de sens contraire.

M. Branly, dans les recherches qu'il fit plus tard, trouva que l'augmentation de la conductibilité, occasionnée par des influences électriques, peut continuer longtemps, quelquefois même plus de vingt-quatre heures, mais on pouvait toujours la faire disparaître par un choc mécanique. Cependant si ces substances ont été soumises à une action électrique très forte, il paraît qu'après un choc elles ne reviennent pas en entier à leur état initial; elles présentent alors une plus grande sensibilité pour une action électrique. Si après un choc, les substances n'obtiennent pas leur résistance primitive, on pourra y arriver quelquefois, par une faible élévation de température.

Avec certaines substances M. Branly remarqua un accroissement de résistance sous l'influence des ondes électriques. Ainsi, par exemple, de courtes colonnes de poudre d'antimoine ou de poudre d'aluminium soumises à une pression d'environ un kilogramme par centimètre carré et ne présentant qu'une petite résistance ont accusé une augmentation de résistance par une vive électrisation.

D'après M. Branly, la diminution de résistance doit être attribuée à ce que le diélectrique qui se trouve entre la surface des particules métalliques, devenait conducteur et une augmentation de résistance doit être cherchée dans une diminution de conductibilité du diélectrique ; M. Branly n'explique pas de quelle manière ces variations de conductibilité du diélectrique sont causées.

Cohéreur de Lodge. — M. Lodge, qui ne connaissait pas les recherches de M. Branly, avait fait des expériences dans la même direction où il fit usage d'un cohéreur composé de deux sphères de métal placées l'une sur l'autre. Après avoir pris connaissance du cohéreur de Branly, il s'en servit pour continuer ses expériences, attendu que ce cohéreur était bien plus facile à régler que le sien. De concert avec M. Fitzgerald, il arrangea un cohéreur avec un seul contact entre la pointe d'une aiguille, qui reposait sur une petite plaque d'aluminium. Il recommença les expériences de Hertz avec ce cohéreur, particulièrement sensible, et il en fit de nouvelles. M. Lodge se servit aussi de cohéreurs à limaille; mais pour protéger celle-ci contre l'oxydation permanente de l'air, il la mettait soit dans un tube à vide, soit dans une atmosphère d'hydrogène. La limaille de laiton placée dans l'hydrogène devenait si sensible que le retour à la résistance primitive était en général impossible.

Cohéreur de Branly. — La figure 29 représente le cohéreur de Branly; dans cette figure *c* est un tube de verre, contenant

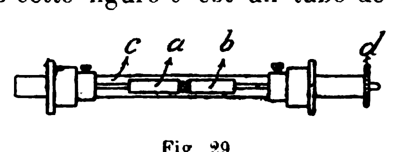


Fig. 29.

deux électrodes *a* et *b*; entre ces électrodes on a placé la limaille et au moyen de la vis *d* on peut régler la pression de la limaille et par conséquent la sensibilité.

Cohéreur de Blondel. — M. Blondel munit (fig. 30) le cohéreur d'un tube *c* contenant de la limaille *f*, qui peut être introduite dans l'espace entre les électrodes *h* et *k* en tournant le tube, de façon

que le cohéreur sera rendu plus ou moins sensible. La « Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft » de Berlin prit un brevet, en 1901, pour un cohéreur d'une sensibilité réglable; l'espace dans

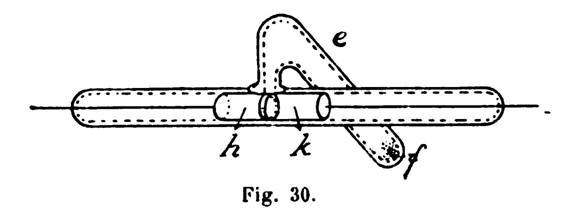


Fig. 30.

lequel la limaille est placée est cunéiforme et en tournant le cohéreur autour de son axe, la pression de la limaille et ainsi la sensibilité peut être variée.

Cohéreur de Rochefort. — Le cohéreur employé par M. Rochefort dans son système présente l'originalité de trois prises de courant. Du montage de celle du milieu il en résulte une plus grande

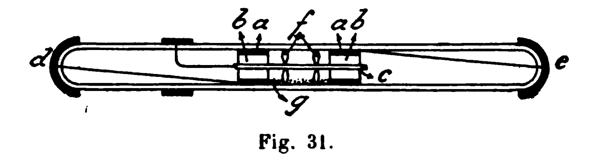


Fig. 31.

sensibilité du relais dont il fait usage, ce qu'on voit plus clairement dans la manière dont ce cohéreur est introduit dans le circuit récepteur (fig. 87).

Comme on le voit dans la figure ci-dessus, les extrémités *d* et *e* du tube sont reliées au moyen de fil de platine à 2 électrodes annulaires *a a* entourant un cylindre isolant *b b*. Une tige conductrice *c* passant dans ce cylindre est munie de deux roues *f*, en fil d'or ou de platine, qui plongent dans la limaille *g* qui ne servira qu'à remplacer peu à peu celle qui a servi et qui est placée entre la roue et l'électrode correspondante. Ce remplacement de la limaille s'effectue par suite des petits mouvements produits par les chocs de décohérence.

Cohéreur de Marconi. — Le cohéreur, dont s'est servi M. Marconi (fig. 32), consiste en un tube de verre *a* de 4 centimètres de

longueur et de 2 millimètres de diamètre intérieur; deux fils de platine, de 5 millimètres de longueur chacun, entrent dans le tube et sont reliés à deux électrodes d'argent *b*. L'espace *c*, dans lequel on a introduit la limaille, a 0,5 millimètre de largeur; la limaille

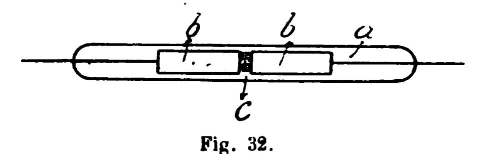


Fig. 32.

consiste en 90 p. 100 de limaille de nickel et 10 p. 100 de limaille d'argent et en ajoutant une petite quantité de mercure, la sensibilité peut être augmentée. On peut y arriver aussi en employant un peu plus de limaille d'argent, mais dans ce cas la régularité de fonctionnement devient moindre. On peut aussi obtenir une plus grande sensibilité en diminuant la distance entre les électrodes, cependant la limaille ne doit pas être trop comprimée. M. Marconi juge qu'un bon vide, par exemple 1/1 000 d'atmosphère, est désirable, mais non nécessaire. Quand les cohéreurs sont prêts, ils sont examinés et jugés utilisables seulement au cas où ils sont sensibles à l'étincelle de rupture d'une sonnerie électrique placée à une distance de 1 à 2 mètres. La résistance, qui pratiquement doit être presque infiniment grande, doit dans ce cas retourner à 500 ou 100 ohms. Pour que le cohéreur se conserve bien, il est bon que l'intensité du courant ne dépasse jamais un milliampère.

Cohéreur à mercure. — Un autre cohéreur employé par M. Marconi dans ses premières expériences transatlantiques, en décembre 1901, nommé cohéreur à mercure, se compose d'un tube de verre *a* (fig. 33) avec deux électrodes *b* de fer ou de charbon ; entre ces électrodes se trouve une goutte de mercure *d*.

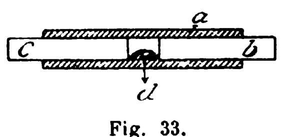


Fig. 33.

L'avantage de ce cohéreur est qu'à la cessation des ondes, il rentre à l'état neutre sans l'intermédiaire d'un frappeur, ce qui est important au point de vue de la simplification de l'installation.

Un débat très animé s'éleva dans les revues allemandes, américaines et anglaises, à propos de l'inventeur de ce cohéreur. Les

uns attribuent cette invention à M. Tommasina, les autres à M. Solari et d'autres encore à M. Castelli.

La décohérence des cohéreurs. — La plupart des cohéreurs, après avoir été actionnés par des ondes électriques, ne rentrent pas d'eux-mêmes à leur état primitif de non-conducteur ; dans ce cas la cohésion des petites parcelles de limaille doit être rompue d'une manière ou d'une autre : le cohéreur doit être « décohéré ». La manière la plus employée pour arriver à ce but, c'est un choc mécanique produit par un petit marteau nommé frappeur ou tapeur qui est fixé à l'extrémité de l'armature d'un électro-aimant (voy. fig. 1).

M. Tesla emploie un cohéreur rempli de limaille métallique, placé verticalement et qui est décohéré en retournant le tube. Il égalise les parcelles de limaille, autant que possible en grandeur et en poids, ensuite il les oxyde en les plaçant pendant un certain temps dans une solution acidulée. Il préfère ne pas faire le vide dans les tubes, parce que d'après lui les cohéreurs seraient moins constants. Cependant il rend les tubes impénétrables à l'air, de façon qu'aucune humidité n'y puisse pénétrer.

M. Tommasina découvrit qu'un cohéreur, rempli de limaille de métal magnétique, pouvait être décohéré en plaçant un aimant à proximité. Dans l'application M. Tommasina utilisa cette découverte en mettant à quelques millimètres au-dessus du cohéreur placé horizontalement, un électro-aimant dans lequel le courant était fermé après chaque fonctionnement du cohéreur ; c'est ainsi que la décohérence pouvait se faire.

Cohéreurs auto-décohérents. — Certains cohéreurs, aussitôt que la limaille est devenue conductrice, reviennent d'eux-mêmes dans leur état normal de non-conducteur, de là le nom de « cohéreur-auto-décohérent ». M. Tommasina, en s'occupant des propriétés cohérentes du charbon, se fit un pareil cohéreur. Il prit une plaque en ébonite où l'on pratiqua une ouverture de 2 millimètres de diamètre bouchée par deux lames de mica. L'espace vide fut rempli avec de la poudre de charbon analogue à celle employée dans certains microphones. Des deux cotés on mit deux fils d'ar-

gentan aboutissant à la poudre, à une distance telle que les extrémités se trouvaient éloignées de 1 millimètre environ. M. Tommasina monte ce cohéreur dans un circuit, dans lequel on a intercalé une pile et un téléphone et toutes les fois que les ondes électriques actionnent le cohéreur, on entend dans le téléphone un bruit clair et de même quand les ondes s'arrêtent, de façon qu'on peut recevoir acoustiquement les signaux.

Explication de l'action du cohéreur. — Les explications données pour le fonctionnement du cohéreur sont multiples. La théorie de Lodge a trouvé le plus d'adeptes. Il admet que les parties métalliques sont séparées au commencement par une couche extrêmement petite non-conductrice, laquelle est comprimée et mise de côté par l'action électrostatique. Après cela, cette mince couche est percée par une étincelle infiniment petite et la cohésion a lieu; de là le nom de « cohéreur » introduit par M. Lodge. En Allemagne on parle quelquefois de « Fritter », parce qu'on nomme dans la technique un soudage superficiel un « Fritt-procédé ». Le nom de « radio-conducteur » apporté par M. Branly a l'avantage que là dedans il n'y a pas une supposition particulière sur la cause de variation de résistance des contacts imparfaits sous l'influence des ondes électriques, mais le fait seul est exprimé.

Que la force électrique qui se produit entre deux parties métalliques peut être très grande, c'est ce que M. Lodge[1] a constaté. Il prend deux surfaces, dont la différence de potentiel est de 1 volt et qui sont séparées l'une de l'autre par un espace de $\mu\mu$ ou 10^{-7} centimètres. La force électrostatique sera alors par unité de surface $\frac{1}{8\pi}\left(\frac{V}{l}\right)^2$; $V = 1$ volt $= \frac{10^8}{3 \times 10^{10}}$ unités électrostatiques et $l = 10^{-7}$ cm., de sorte que cette force sera égale à $\frac{10^{10}}{72\pi}$ dynes par cm^2.; et comme le poids d'un kilogramme, considéré comme force correspond à peu près à 10^6 dynes, la force électrostatique correspondra à une pression de 44 atmosphères. Si les surfaces étaient placées à une distance moléculaire, cette force serait encore beaucoup plus grande; ne prenons pas des surfaces, mais des points avec relativement peu de molécules, l'attraction entre

[1] *The Electrician*, Nov. 12, 1897, p. 91.

deux points, chargés de signes contraires, serait de même grandeur. Les petits espaces entre les surfaces ou les points, que l'on pourrait nommer pellicules, peuvent bien fonctionner pour un petit instant comme diélectrique, mais ils sont crevés par une étincelle infiniment petite, si la force occasionnée par l'électricité affluant subitement, devient trop grande.

M. Ferrié[1] explique la chose de la même manière ; quand deux corps conducteurs sont placés assez près l'un de l'autre qu'un diélectrique très mince se trouve entre les points les plus rapprochés de leurs surfaces, le diélectrique du condensateur ainsi formé sera brisé si l'on porte les corps sur différents potentiels, quand la différence de potentiel a atteint une certaine valeur. Cette valeur dépend de la nature du diélectrique, de sa grosseur et des substances conductrices ; une petite étincelle jaillit et des petites quantités de matière conductrice, qui sont entraînées par l'étincelle, peuvent former un pont sur les deux surfaces et ce chemin conducteur pourra être interrompu par le moindre choc. Pour la différence de potentiel que peuvent supporter les armatures du condensateur sans que le diélectrique soit crevé, M. Blondel se servit du mot de « tension critique ». Si un cohéreur avec un contact imparfait, intercalé dans un circuit qui contient une force électromotrice, est assujetti à l'influence des ondes électriques, ces dernières occasionneront entre les armatures une certaine différence de potentiel qui, ajoutée à ce qui existait déjà, peut crever le condensateur.

M. Hanchett, entre autres, remarqua le jaillissement de petites étincelles dans ses expériences microscopiques de l'action du cohéreur et il trouva que les petites parcelles de limaille s'orientaient sous l'influence des ondes. C'est pourquoi M. Hanchett aussi croit pouvoir expliquer cette action par des forces électrostatiques.

M. Härden constata le même phénomène et en fit rapport avec les expériences et les appareils dont il se servit à cet effet dans le *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1900, p. 272.

M. Auerbach, qui rechercha l'influence des ondes sonores sur la

[1] *L'Eclairage électrique*, t. XXIV, 1900. p. 501.

résistance du cohéreur, croit que la résistance diminue par les ondes électriques en conséquence d'une action mécanique ; d'autres cependant ont fait remarquer qu'une diminution de résistance a lieu aussi bien quand les petites parcelles de limaille sont placées dans un diélectrique solide ; les expériences de M. Branly avec de grandes plaques de métal et avec des cohéreurs à contact unique sont aussi en désaccord avec cette explication.

M. Robinson[1] se basant sur ses recherches sur la résistance électrique de contacts imparfaits, croit pouvoir expliquer le phénomène de cohérence par une petite couche d'oxyde qui se trouve entre les électrodes. M. Vicentini[2] montre par ses expériences que la résistance de contact des métaux est déterminée par une petite couche de gaz se trouvant entre les surfaces qui se touchent. Il tira la conclusion que si une série de conducteurs qui venaient d'être polis, étaient mis en contact, ils avaient une résistance de contact négligeable. Si les conducteurs étaient exposés pendant quelque temps à l'influence de l'air ou d'un autre gaz et ensuite mis en contact, la résistance de contact était très grande. Si l'on plaçait ensuite les métaux dans un tube, où l'on avait fait le vide la résistance redevenait égale à O, du moins si les métaux n'avaient pas subi de modification chimique par le gaz.

M. Dorn[3] arriva au même résultat que M. Vicentini avec la limaille métallique. D'après le premier, la raison doit être cherchée dans une faible couche d'oxyde, dont les métaux oxydables se recouvrent. La limaille d'aluminium par exemple a une haute résistance, qui ne diminue même pas quand elle est échauffée dans un espace à vide. L'oxyde d'aluminium ne subit aucun changement sous l'action de la chaleur.

M. Guthe[4] considère l'attraction électrostatique entre les petites parcelles de métal comme la première phase dans le phénomène de cohérence. D'après la théorie des électrons, des électrons libres se meuvent dans les métaux dans chaque direction et la raison pour laquelle ils ne quittent pas le métal se trouve

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1903, S. 805.
[2] *La Lumière électrique.* t. XLIX, 1893, p. 281.
[3] *Wied. Ann. Bd.* 66, 1898, S. 146.
[4] *The Electrician*, Nov. 4, 1904, p. 93.

dans l'attraction électrostatique entre ces électrons et le métal.

Avec un cohéreur actionné par des ondes électriques, on a un champ électrostatique extérieur, et si ce champ a une intensité suffisamment grande, il peut entraîner des électrons du métal vers l'autre électrode, de façon qu'il peut se produire un courant électrique, qui sera conduit par les électrons. L'ionisation du gaz ambiant d'après M. Guthe, semble jouer ici un rôle très important.

L'étude des cohéreurs a été faite par bien des savants, entre autres : MM. Bose, Eccles, Tommasina, Arons, Tissot, Aschkinass et Trowbridge. On en a donné beaucoup d'explications, mais on n'en a pas donné une seule qui explique soit une diminution de résistance sous l'influence des ondes électriques soit une augmentation de résistance, la décohérence et l'auto-décohérence. De là on peut conclure avec quelque certitude, que l'on a affaire ici à un phénomène compliqué, où différentes influences sont en jeu en même temps.

Avant de décrire ces récepteurs, qui reposent sur des principes tout autres que les cohéreurs, nous mentionnerons encore quelques-uns de ces derniers, dans lesquels on n'emploie pas de limaille métallique et ensuite nous parlerons de quelques types d'anti-cohéreurs.

Cohéreur de Maskelyne. — Parmi les premiers on range celui dont M. Maskelyne se sert dans son système. Dans un petit tube de verre *a* (fig. 34) fermé à ses extrémités de couvercles métalliques *b*, on a introduit deux tiges de métal *c*, aux extrémités arrondies et polies. La distance entre ces faces hémisphériques est à

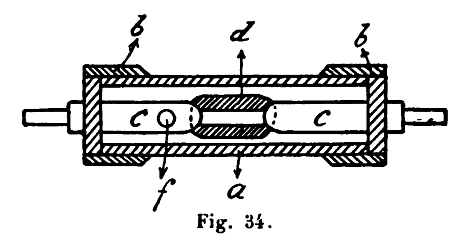


Fig. 34.

peu près de 5 millimètres, et entre elles se trouve un cylindre creux *d*, dont le diamètre intérieur est plus petit que celui des tiges. L'intérieur et les extrémités de ce cylindre sont aussi polis et sa longueur est prise de façon qu'il ne peut se mouvoir que dans un très petit intervalle.

Le cylindre et les parties *c* sont en acier et recouverts d'une

couche d'oxyde de façon qu'à l'état normal le courant électrique ne peut passer. Quand ce cohéreur, nommé « conjuctor » par M. Maskelyne, est actionné par des ondes électriques, la résistance devient minime. Au moyen d'un relais et d'un frappeur l'état non-conducteur est rétabli. L'ouverture *f* sert à introduire du chlorure de calcium ou une substance pareille, afin de maintenir l'air sec dans le conjucteur.

On a pris des brevets nombreux pour des cohéreurs à poudre de charbon et d'acier. Nous avons déjà parlé du cohéreur autodécohérent de M. Tommasina avec de la poudre de charbon et un fil de maillechort.

Cohéreur à charbon de Schoemaker et Pickard. — Le cohéreur à charbon de MM. Schoemaker et Pickard a été breveté en Amérique en 1902. Un tube de verre *a* (fig. 35) est muni à l'une de ses

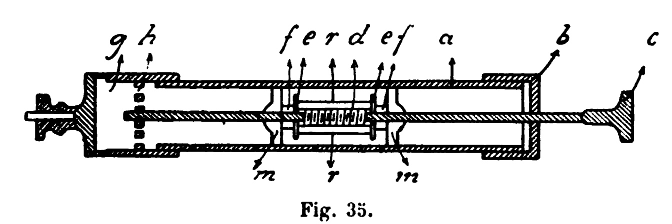


Fig. 35.

extrémités d'un couvercle de métal *b* dans lequel passe une vis *c*, fixée à son extrémité à la partie isolée intérieure *d*. En tournant la vis *c*, un disque de charbon *e* sera serré entre la partie *d* et un morceau de cuivre *f*. Les parties *m* sont d'un matériel isolant et servent à centrer les parties déplaçables. En *g* on place du chlorure de calcium pour que l'intérieur du tube reste sec et c'est pourquoi on a percé les petits trous *h*. Les deux disques de charbon *e* sont munis de petits trous ronds, par lesquels on a passé des aiguilles d'acier *r*, dont nous en avons indiqué deux dans la figure. Ce cohéreur est particulièrement sensible et autodécohérent.

Cohéreur de Massie. — Dans son système, qui a été appliqué par la Marine des État-Unis, M. Massie se sert d'un cohéreur appelé par lui « oszillophon ». Les électrodes sont de charbon, les

extrémités toutefois, taillées en lames, sont composées d'un mélange d'huile et de poudre de charbon. Sur ces extrémités repose une aiguille d'acier maintenue en position au moyen d'un aimant permanent. Deux pointes de laiton, un peu plus longues que les électrodes, empêchent le collage de l'aiguille avec l'aimant. Cet oszillophon dont on dit que la régularité de fonctionnement est meilleure que celle de la plupart des cohéreurs à contact microphonique, a une résistance de 40000 ohms qui descend au-dessous de 700 ohms lors du passage des ondes électriques ; il retourne ensuite de lui-même à l'état de non-conducteur. A présent toutefois M. Massie se sert aussi de récepteurs magnétiques.

Cohéreur de Bleekrode. — En 1902, Bleekrode, un savant hollandais, fit des expériences entre le « Hoek van Holland » et un bateau-phare de l'État, se trouvant à l'ancre à quelque distance de la côte, avec un cohéreur très simple qu'il avait inventé lui-même. Sur un morceau de bois carré il avait placé deux morceaux de charbon de 5 centimètres de longueur, comme ceux dont on se sert dans les lampes à arc. En travers de ces crayons on plaça 3 ou 4 aiguilles à coudre ordinaires ; l'un des crayons fut relié à l'antenne, l'autre mis à la terre et le cohéreur ainsi construit fut intercalé dans un circuit avec un élément et un téléphone. Les signaux, transmis du bateau, pouvaient de cette manière être facilement reçus au son.

Cohéreur de Lodge et Muirhead. — Le cohéreur dont se servent MM. Lodge et Muirhead dans leur système appartient aussi au groupe des appareils autodécohérents. La figure 36 le représente schématiquement. Un réservoir en ébonite *d* contient une petite quantité de mercure qui se trouve relié, au moyen d'une spirale de fil de platine amalgamé *b*, à une borne *h* placée en dessous. Le mercure doit former un ménisque à la bouche du réservoir ; un disque *a* en acier poli, de 10 millimètres de diamètre, monté sur un axe, tourne au-dessus de ce ménisque et en effleure la surface ; cet axe est mis en mouvement par un rouage semblable à celui

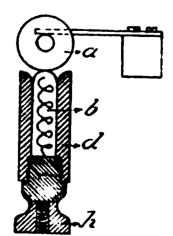


Fig. 36.

d'un Morse ordinaire, à la vitesse de 14 tours à la minute. Pour faire fonctionner le récepteur, on déclenche le rouage, on relève *d* jusqu'à ce que le disque plonge très légèrement dans le ménisque et on met une quantité minime d'une huile minérale spéciale à la circonférence du disque, afin de former un « film » excessivement mince à la surface du mercure. Une force électromotrice de 0,5 volt environ étant appliquée au cohéreur, dont le circuit comprend un récepteur sensible, il n'y a aucun contact électrique entre *a* et le mercure, mais dès qu'une onde frappe l'appareil, le film disparaît et il s'établit un contact qui cesse en même temps que l'onde. Vu la faiblesse du courant qui traverse le cohéreur, un relais même très sensible ne pourrait servir; les inventeurs ont ainsi été forcés d'adopter le siphon recorder comme récepteur.

Anti-cohéreur de Neugschwender. — M. Neugschwender[1] trouva une nouvelle méthode pour constater l'existence d'ondes électriques. Quand on fait une fente étroite, par exemple de 1/3 mm. dans la couche d'argent d'une lame de verre argentée et que l'on introduit cette lame dans un circuit, dans lequel on a placé un élément et un galvanomètre, ce dernier ne présente aucune déviation. Si l'on souffle sur la fente, la couche très fine de vapeur qui se dépose, forme conducteur et le galvanomètre dévie; par l'action électrolytique de minces fils de métal se sont produits sur la surface du verre. Si le petit morceau de verre est frappé dans cet état par des ondes électriques, la déviation du galvanomètre disparaît brusquement, la résistance est donc devenue infiniment grande. Cette espèce de cohéreur, dont la résistance augmente sous l'influence des ondes électriques, s'appelle un anti-cohéreur. Indépendamment de M. Neugschwender, un pareil phénomène fut observé par M. Aschkinass[2], qui se servit dans ses expériences de deux broches, entre lesquelles il plaça une goutte d'eau.

Anti-cohéreur de Schäfer. — En 1899, M. Schäfer[3] demanda un brevet pour un cohéreur formé d'une couverture de métal, qui

[1] *Wiedem. Ann. Band* 67, 1899, S. 430.
[2] *Ibid.*, S. 842.
[3] *Phys. Zeitschr.* 26 Jan. 1901.

était divisée en deux ou plusieurs parties par des traits très minces de 1/100 mm. Cette couverture fut appliquée sur des matières non-conductrices et le tout fut placé dans un tube de verre, où l'on avait fait le vide. La résistance de cette couverture métallique devient plus grande sous l'influence des ondes électriques; à la disparition des ondes elle retourne d'elle-même dans son état primitif. C'est donc aussi un anti-cohéreur. Le fonctionnement du cohéreur de Schäfer peut être expliqué de la manière suivante. En faisant de pareils traits si minces, il reste toujours quelques filaments métalliques, dont la résistance accroît par l'augmentation de température, produite par les ondes électriques. La cause principale est dans l'apparition de petites étincelles, par lesquelles les ponts sont détruits. Quand les étincelles cessent, des vapeurs métalliques se déposent, les ponts se reforment et la résistance primitive est rétablie. Avec cet anti-cohéreur on fit, en 1900, des expériences sur une distance de 100 kilomètres qui réussirent très bien.

Détecteur magnétique de Marconi. — Nous rapporterons ce qui suit concernant d'autres indicateurs d'ondes.

En 1902, M. Marconi prit un brevet pour son détecteur magnétique (fig. 37). Sur un noyau *a* consistant en un faisceau de fils de fer isolés les uns des autres, on a enroulé un fil de cuivre isolé qui, d'une part, est mis en communication avec l'antenne, et d'autre part, avec la terre. Autour de cet enroulement se trouve une bobine secondaire *b*, dont les extrémités sont reliées à un écouteur téléphonique H. Près des extrémités du noyau *a* est placé un aimant en fer à cheval *c*, animé d'un mouvement lent de rotation autour de son axe, de façon que le noyau de fer *a* subit une aimantation à renversement périodique. Si maintenant des ondes électriques se produisent dans l'antenne de réception, l'aimantation change brusquement; ce changement peut être entendu dans le téléphone et selon que la durée des ondes aura été plus ou moins courte, on percevra un trait ou un point. A une certaine position de l'aimant, les ondes n'exercent aucune influence et pour surmonter cette difficulté, on a choisi le dispositif de la figure 38 avec lequel on a obtenu d'excellents résultats, même pour de

grandes vitesses de transmission. Les enroulements primaire et secondaire *a* et *b* sont appliqués sur un tube de verre *e*, à travers

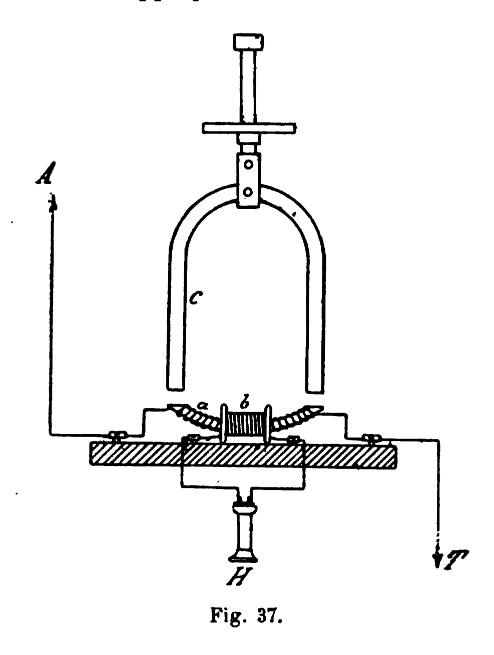


Fig. 37.

lequel se meut à l'aide des disques *d*, *d* une corde sans fin *f* composée de fils de fer. Les pôles de deux aimants en fer à cheval *c*

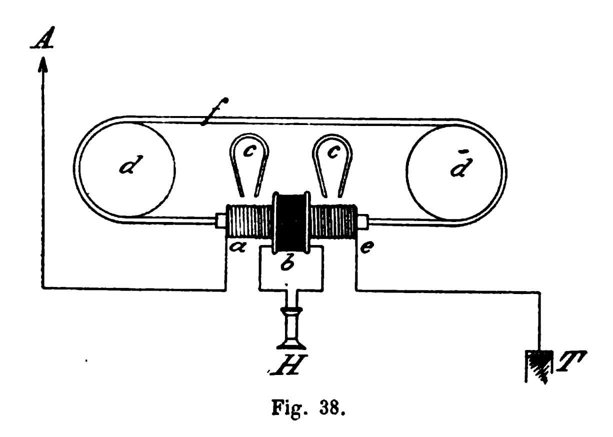


Fig. 38.

sont maintenus à telle distance de la bande de fer que la sensibilité de l'appareil atteigne son maximum.

Quand on emploie ces détecteurs il est nécessaire d'intercaler

de même un cohéreur ordinaire avec un relais et un trembleur, qui sert de signal d'appel.

Il faut chercher l'explication de l'action du détecteur magnétique dans une variation de l'hystérésis du noyau de fer *a* (fig. 37) sous l'influence d'ondes électriques, phénomène, déjà connu longtemps avant l'invention de M. Marconi.. En 1891, MM. Gerosa et Finzi remarquèrent que, quand on conduisait un courant alternatif par une bobine qui était enroulée autour d'un faisceau de fils de fer et qu'en même temps les fils de fer étaient soumis à l'action d'un champ magnétique alternatif, la valeur normale de l'hystérésis diminuait de beaucoup et devenait quelquefois 0. Plus tard M. Rutherford trouva que le même phénomène se présentait, quand la fréquence du courant alternatif était très grande et l'intensité très faible, comme cela a lieu par exemple pour les ondes hertziennes. M. Maurain montra par des expériences, que quand un noyau de fer ou d'acier était soumis à un cycle de champ magnétique, en même temps qu'à l'action continue d'un champ oscillant de même direction, on obtient au lieu de la courbe d'aimantation à deux branches bien connue, une courbe unique, sur laquelle se placent tous les points obtenus à champ croissant ou à champ décroissant ; il suffit pour cela que le noyau soit assez mince pour que le champ oscillant pénètre, avec une intensité suffisante, jusque dans la partie centrale. Le noyau étudié était entouré par deux bobines très longues ; la bobine extérieure est la bobine magnétisante, où l'on envoie un courant continu d'intensité variable ; la bobine intérieure d'une seule couche de fil et bien isolée, était parcourue par des oscillations électriques, produites de la manière suivante : les armatures d'une bouteille de Leyde étaient reliées, d'une part, aux pôles d'une bobine de Ruhmkorff, d'autre part, aux extrémités de la bobine intérieure.

M. Galileo Ferraris démontra par ses recherches classiques sur les rotations électrodynamiques, qu'un cylindre de fer, placé dans un champ magnétique tournant, commençait à tourner, même quand le cylindre était fait de façon que des courants de Foucault ne pouvaient s'y produire. A cause de l'hystérésis, l'aimantation du fer était à chaque instant en retard de phase par rapport au champ magnétique. M. Arno soumit ce cylindre encore à l'action

d'un champ magnétique à renversement périodique de haute fréquence ; dans ce but il enroula le noyau par une bobine, dont l'une des extrémités fut mise à la terre, tandis que l'autre extrémité fut reliée à une antenne, dans laquelle des courants de haute fréquence furent engendrés. Il lui parut alors que l'hystérésis avait augmenté, car la rotation du cylindre était devenue plus grande. Il obtint le même résultat avec un cylindre d'acier, mais il ne donna pas d'explication de ce phénomène. Il remarqua seulement que, quelques mois avant lui, MM. Ewing et Walter[1] avaient fait la même observation.

Beaucoup de recherches ont été faites relativement au fonctionnement du détecteur magnétique ; les plus récentes sont celles de MM. Eccles[2] et Russell[3]. Quelques savants ont observé une augmentation, d'autres une diminution de l'hystérésis.

Comme l'a montré M. Walter[4], ces résultats contradictoires peuvent s'expliquer en grande partie par la signification différente qu'on peut donner au mot « hystérésis ». Il faut distinguer, avec les oscillations de haute fréquence, le retard de phase entre l'induction magnétique et le courant magnétisant, et la perte d'énergie occasionnée par ce retard de phase. En général, des oscillations de haute fréquence diminueront l'hystérésis (retard de phase) et en même temps augmenteront l'hystérésis (perte d'énergie). Il faut distinguer aussi un champ magnétique dont la direction est variable et un champ de direction constante dont l'intensité varie. Quand on considère ensuite que les différentes espèces de fer ont des qualités magnétiques tout autres, cela pourra expliquer les écarts des résultats obtenus par plusieurs savants.

« Oscillation valve » de Fleming. — Un autre récepteur d'ondes, inventé par M. Fleming en 1904, et dont se sert M. Marconi, repose sur le phénomène, que les corps incandescents émettent à leur surface des électrons négatifs, phénomène qui se présente avec une intensité toute particulière avec du charbon incandescent

[1] *The Electrician*. March 4, 1904. p. 783.
[2] *Ibid*, Aug. 24, 1906, p. 742.
[3] *Ibid*., July 5, 1907, p. 480.
[4] *Ibid*., May 5, 1905, p. 84.

dans le vide. M. Fleming tira de ce fait l'application pratique suivante. Il entoura le filament d'une lampe à incandescence d'un cylindre métallique *a* (fig. 39) maintenu en position à l'aide d'un fil de platine. L'enroulement secondaire du transformateur de réception était relié par l'une de ses extrémités à ce cylindre et par l'autre à l'électrode négative de la lampe à incandescence. Dans le circuit il introduit le galvanomètre G. La lampe était ali-

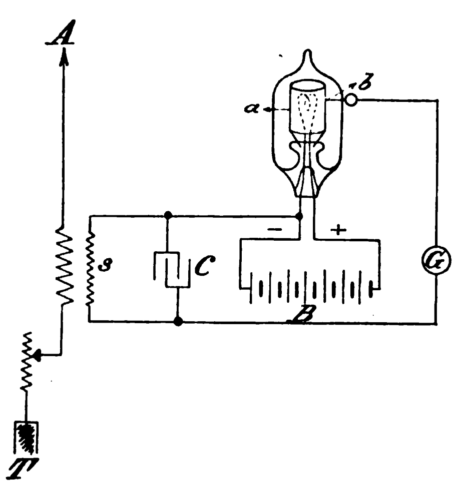


Fig. 39.

mentée par la petite batterie B. Si maintenant des ondes électriques frappent l'antenne A, des oscillations prendront naissance dans le circuit *sab*G*s* et le galvanomètre déviera. Les électrons négatifs qui sont émis du filament de la lampe vers le cylindre, formeront, pour ainsi dire, un chemin conducteur pour l'électricité négative qui ne pourra pas marcher en sens contraire. C'est la lampe à incandescence qui sépare les deux électricités qui se meuvent en sens contraire et seule la négative peut passer. De là le nom d' « oscillation valve » donné par M. Fleming à ce récepteur.

M. Marconi a fait des expériences avec ce récepteur sur des distances de 200 milles et il a obtenu de très bons résultats. Il a seulement remplacé le galvanomètre par un téléphone.

M. de Forest[1] décrivit un récepteur qui a une grande analogie

[1] *The Electrician*, Nov. 23, 1906, p. 216.

avec le précédent et qui repose sur le même phénomène, auquel il donna le nom d' « audion ».

Récepteur de Fessenden. — En 1899, M. Fessenden imagina un récepteur, qui repose sur une variation de la conductibilité d'un circuit secondaire; cette variation est occasionnée par un courant qui se produit par les ondes électriques. Dans la figure 40, *a* représente une bobine de fil, dont une extrémité est reliée à l'antenne réceptrice A et l'autre à la terre. Par suite des ondes électriques il se produit dans cette bobine un courant, qui engendrera un champ magnétique et celui-ci actionnera la boucle d'argent *b*. Cette boucle repose sur deux couteaux *c* et *d*, dont le premier est fait d'un matériel bon conducteur par exemple d'argent ; *e* est un petit bloc de charbon qui repose contre la boucle *b*, de sorte qu'il se forme un circuit fermé, dans lequel on a introduit une batterie B et un téléphone H. Quand le champ magnétique est produit, la boucle *b* appuyera plus fortement contre le petit bloc de charbon *e* et causera ainsi une diminution de la résistance de contact, ce qui pourra être entendu dans le téléphone. On pourra de cette manière percevoir des traits ou des points suivant que les ondes dureront plus ou moins longtemps. Après que les ondes ont cessé, le récepteur retourne de lui-même dans sa position primitive.

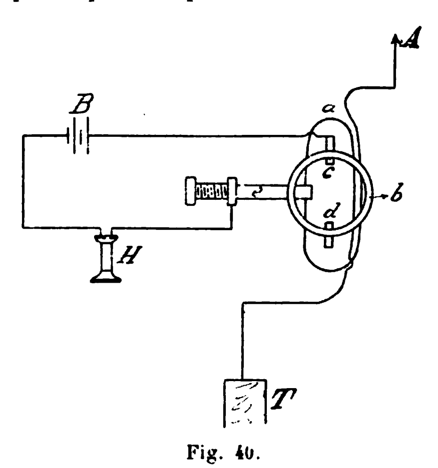


Fig. 40.

Les récepteurs, dont se sert actuellement M. Fessenden dans son système, sont les barretters de fils et les barretters de liquide qui, à l'encontre des cohéreurs fonctionnent par suite d'une variation de l'intensité du courant et non par suite d'une variation du potentiel.

« Barretter » de fil de Fessenden. — Le barretter de fil est un

appareil, qui s'échauffe rapidement au passage des ondes, par conséquent, qui acquiert une plus grande résistance, pour se refroidir aussi vite dès que les ondes viennent à cesser. M. Fessenden prend un fil d'argent de 2,5 mm. de diamètre qui est muni d'un noyau en platine de 0,075 mm. Il étire ce fil pour que le diamètre extérieur du fil d'argent ne soit que de 0,051 mm. et celui du noyau de platine que de 0,00152 mm. Un bout de ce fil est relié à deux conducteurs de platine et replié en forme de V. La pointe est alors plongée dans de l'acide nitrique, de façon qu'à cette place l'argent se dissout, mais de telle façon qu'une partie de la couverture d'argent reste. Lorsque maintenant le fil est parcouru par des ondes électriques, le revêtement d'argent qui reste sera plus échauffé que le platine, parce que son volume est 7 fois plus petit que celui du platine, alors que la conductibilité des deux métaux est la même; la résistance augmentera donc de ce fait.

La réception des signaux a lieu de la même manière qu'avec le récepteur de Fessenden décrit ci-dessus. La figure 41 représente le barretter de fil; *a* est le fil préparé, entouré d'une coquille d'argent isolée *b* pour empêcher la déperdition de chaleur. Le tout est entouré d'une ampoule de verre, traversée par les fils conducteurs *d* et dans laquelle on a fait le vide, pour rendre la sensibilité plus grande.

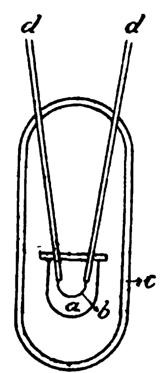


Fig. 41.

M. Fessenden place un certain nombre de ces barretters sur un disque en ébonite mobile. Dans ce disque sont de petites parties en métal, auxquelles les conducteurs des barretters sont reliés ; quand on fait tourner le disque au moyen d'un bouton, les parties métalliques se meuvent contre deux bras qui sont reliés à deux barres faisant partie du circuit récepteur. Quand un des barretters a été endommagé, on peut, en tournant le disque, intercaler vite un autre barretter.

Avec une longueur d'étincelle de 0,8 mm. à la station de transmission, M. Fessenden obtint de bons résultats avec un tel barretter, dans des expériences entre le cap Hatteras et l'île de Roanoke (distance : 90 kilomètres); la vitesse de transmission qu'il obtint fut de 30 mots par minute.

« Barretter » de liquide de Fessenden. — Après le barretter de fil, M. Fessenden trouva le barretter de liquide (fig. 42) qui repose sur le même principe que le premier. Le fil de platine argenté est remplacé ici par une très petite couche de liquide *b* à la hauteur du diaphragme *c*, dans lequel est pratiqué un petit trou et au-dessus duquel est disposée une petite pointe mise en communication avec l'antenne. De cette manière la résistance de la couche de liquide est, pour ainsi dire, concentrée à la place *b* et sous l'action des ondes électriques la faible couche de liquide contenue dans le trou du diaphragme s'échauffe rapidement. Un avantage que ce barretter de liquide a sur le barretter de fil, c'est qu'il ne peut pas être détruit par des décharges atmosphériques, ce qui arrive quelquefois avec le dernier, Le barretter de liquide est beaucoup plus sensible, c'est un autre avantage; quand une certaine quantité d'énergie électrique change de 1/4 p. 100 la résistance du barretter de fil, la même quantité d'énergie apporte au barretter de liquide une variation de résistance de 12 p. 100 et cette variation suffit pour faire fonctionner un siphon recorder. Une différence qui existe entre les deux barretters, c'est que sous l'influence d'ondes électriques, il se produit une augmentation de résistance dans le barretter de fil et dans le barretter de liquide une diminution de résistance, parce que le coefficient de température des liquides est négatif. Ensuite, M. Fessenden indique comme un avantage de ses barretters sur les cohéreurs, qu'avec eux une syntonie nette est plus facile à obtenir qu'avec les cohéreurs. Cela peut s'expliquer en ce que la résistance et la capacité des cohéreurs sont des quantités variables tandis que celles des barretters sont constantes.

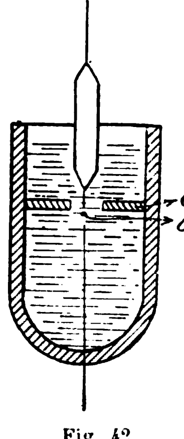


Fig. 42.

Nous avons encore à parler de deux récepteurs qui reposent sur une action électrolytique: ce sont ceux de De Forest et de Schlömilch.

« Responder » de De Forest. — Le récepteur dont M. De Forest se sert dans son système et qu'il a nommé « responder », est aussi

très sensible. Entre deux électrodes de métal, on introduit une pâte spéciale, composée de limailles assez grosses, mélangées avec de la vaseline, de la glycérine, de l'huile ou une autre substance; M. De Forest découvrit alors que par l'intercalement dans un circuit, où l'on avait placé une pile, de petites parties de l'anode étaient conduites à travers la substance vers la cathode. Sur la cathode se produisent alors de petites branches qui atteignent bientôt l'anode pour former ainsi une connexion d'une très petite résistance. Sous l'influence d'ondes électriques ces ponts sont immédiatement détruits, la résistance est donc devenue très grande, d'où il s'ensuit que le responder fonctionne comme anti-cohéreur; quand les ondes cessent, les ponts se reforment directement.

Comme par l'action électrolytique il se produit de petites globules d'oxygène à l'anode et des globules d'hydrogène à la cathode, le fonctionnement du responder pourrait être par là rendu difficile et c'est pour cela que M. De Forest ajoute à la substance du peroxyde de plomb ou d'autres substances dépolarisantes.

La figure ci-après donne une idée du responder; *a* et *b* représentent les deux électrodes; *b* est muni d'un pas de vis et au

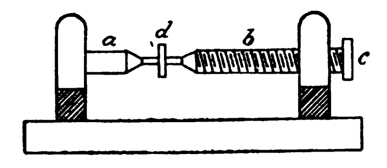


Fig. 43.

moyen de *c* elle peut être déplacée. De cette manière la pression du petit morceau de tissu *d*, qui est imbibé d'une des substances indiquées, peut être modifiée pour régler le responder.

- M. De Forest a donné au responder encore d'autres formes, qui reposent toutes sur le même principe. Ainsi il se servit de responders avec 3 électrodes et entre ces électrodes il mit la substance sensible.

L'étain semble être le matériel le plus propre pour les électrodes; le courant qui passe par le responder ne doit pas être trop fort et il ne doit pas dépasser 0,1 à 1 milliampère. Si l'on intercale dans le circuit, où l'on a placé le responder et la batterie, un téléphone, on y entendra un bruit distinct, correspondant à chaque

étincelle, qui jaillit dans la station transmettrice. Ces bruits, selon qu'ils sont plus ou moins longs, peuvent être perçus comme des traits ou comme des points. M. De Forest fait remarquer que l'avantage de ce récepteur électrolytique réside en ce qu'on peut se passer de tapeur; pour lui, dit-il, c'est une de ces antiquités dont il ne s'est jamais servi. Ce fut aussi avec le responder qu'en janvier 1906 on reçut à la station de M. De Forest à Colon (Panama) un radiotélégramme envoyé de Manhattan Beach situé à 2150 milles de la station réceptrice.

Indicateur de Schlömilch. — Le récepteur de M. Schlömilch, dont se sert la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie » dans certains dispositifs est une pile de polarisation, dont les électrodes sont placées dans une solution faiblement acidulée. Le tout est enfermé dans un étui d'ébonite muni de deux ressorts *b* et *c* qui permettent d'insérer la pile dans le circuit au moyen d'une fermeture à baïonnette. Les électrodes, de platine ou d'or, sont très courtes et excessivement minces (0,003 mm.); l'électrode négative ne joue aucun rôle et peut par conséquent être prise d'une forme et d'une grandeur arbitraire. Si ce récepteur d'ondes, ou « indicator » comme on le nomme quelquefois, est introduit dans un circuit avec une pile d'une force électromotrice un peu plus grande que la force contre-électromotrice de l'indicateur, il s'y produit un courant de décharge continuel qui développe du gaz aux électrodes. Si l'indicateur est frappé par des ondes électriques il survient un renforcement du courant, qui peut s'entendre dans un téléphone intercalé, de façon que les signaux Morse peuvent être reçus au son. Chaque indicateur doit être réglé à part, car si le développement du gaz est trop fort ou trop faible, la sensibilité diminue; pour chaque indicateur il existe, en d'autres termes, une tension critique.

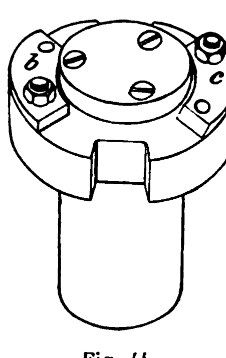


Fig. 44.

Réglage facile, constance, ainsi que l'insensibilité aux chocs sont les grands avantages de cet indicateur. Voilà pourquoi cet indicateur électrolytique, et d'autres du même genre, comme par

exemple celui de M. le capitaine Ferrié, sont employés par beaucoup de sociétés. Comme le détecteur magnétique de Marconi il est particulièrement propre pour les communications à grande distance. C'est ainsi que par exemple dans les expériences officielles faites par la Marine des Etat-Unis on a pu communiquer entre la côte et un navire sur une distance de plus de 3 700 kilomètres.

M. Dieckmann[1] fit quelques expériences sur le fonctionnement de l'indicateur Schlömilch; il fit remarquer que l'action repose sur un phénomène de polarisation et ne peut être expliqué par un développement de chaleur, comme certains le croyaient.

Sensibilité des récepteurs d'ondes. — M. Fessenden[2] fit des recherches détaillées en ce qui concerne la sensibilité de différents types de récepteurs d'ondes. Il nota le résultat de ses recherches dans un tableau, que nous donnons ci-dessous, un peu sous une autre forme, en prenant la sensibilité du cohéreur de Marconi comme égale à 1.

RÉCEPTEUR D'ONDES	SENSIBILITÉ
Cohéreur de Marconi nickel argent-mercure	1
Cohéreur, formé de 95 p. 100 d'or et 5 p. 100 de bismuth .	4
Cohéreur de mercure et autres types, consistant en charbon-acier, acier-aluminium, acier-mercure e. a.	18
Récepteurs, basés sur les phénomènes d'hystérésis	40
Barretter de fil de Fessenden.	50
Barretter de liquide de Fessenden.	571

Si l'on avait cru pouvoir disposer d'un cohéreur extraordinairement sensible avec l'invention du tube de Branly, il est démontré par ce tableau, que d'autres récepteurs d'ondes surpassent de beaucoup en sensibilité le cohéreur ordinaire. Cependant cela ne veut pas dire que dans toutes les circonstances on doive donner la préférence au récepteur le plus sensible; comme nous l'avons dit page 69, il faut tenir compte, qu'en général les récepteurs les plus sensibles sont les plus sujets aux perturbations, occasionnées par l'électricité atmosphérique.

[1] *Phys. Zeitschr.* 15 Aug. 1904.
[2] *Electrical World*, 1903, n° 12.

CHAPITRE V

SYNTONISATION

La résonance électrique peut être comparée à la résonance acoustique ; on sait qu'un diapason mis en vibration mettra à son tour en vibration un autre diapason accordé sur le même ton et placé à une certaine distance du premier. Une petite différence de la durée d'une vibration des deux diapasons n'a que peu ou point d'influence sur la réussite de l'expérience ; il faudrait une assez grande différence pour que le second diapason ne vibrât pas. De même quand un corps est frappé par des ondes électromagnétiques, celles-ci développeront des forces électriques et magnétiques alternatives dont la période est égale à celle des vibrations qui les ont produites ; et ces forces peuvent engendrer à leur tour des vibrations électriques dans le corps. Si la période propre du corps est égale à la période des ondes électromagnétiques, en d'autres termes, s'il y a syntonisation entre les deux oscillations, il se produira un mouvement vibratoire intense dans le corps, à cause de la résonance. Lorsque l'amortissement des ondes électriques est grand, il importe peu que l'égalité des deux périodes soit parfaite ; car, dans ce cas, l'appareil récepteur fonctionnera lors même qu'il y a une grande différence entre les deux périodes.

Le cohéreur et la syntonisation. — Quand on se sert par exemple d'un cohéreur comme récepteur, il faut, par suite de la sensibilité variable de cet appareil, s'arranger de telle sorte que le cohéreur, réglé à la plus grande sensibilité, réagisse alors même que les tensions maxima des ondes deviennent plus faibles. Il s'ensuit de là que le cohéreur fonctionnera, non seulement avec une parfaite syn-

tonisation, mais aussi avec une différence de fréquence. Toutefois le nombre de fréquences qui mettra le circuit cohéreur en action sera d'autant plus petit que la courbe de résonance présentera un parcours plus pointu, ce qu'on obtient en diminuant le plus possible l'amortissement des ondes. Dans la figure 45 la ligne I représentera une courbe de résonance pour des oscillations d'un faible amortissement. Augmente-t-on au contraire l'amortissement en intercalant par exemple de la résistance dans le circuit oscillateur, alors la courbe aura une forme plus aplatie (courbe II), la netteté de la résonance aura diminué. De là la grande importance de diminuer l'amortissement des ondes autant que possible.

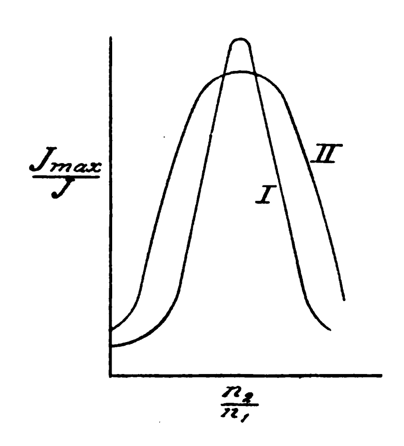


Fig. 45.

Cependant l'emploi d'un cohéreur, comme l'ont montré les expériences de M. Tissot [1], ne permet pas d'atteindre une syntonisation assez nette; c'est ce qui explique pourquoi cet appareil est peu approprié à la télégraphie sans fil syntonisée.

Dans l'ancien dispositif Marconi, l'amortissement étant grand, chaque décharge ne produisait que peu d'oscillations et d'une amplitude allant vite en décroissant; et ainsi ces ondes pouvaient engendrer des vibrations dans des circuits récepteurs dont la période propre différait beaucoup de celle des ondes. Avec les dispositifs communément employés maintenant — circuit oscillateur fermé, accouplé avec l'antenne soit directement, soit inductivement — on se heurte, pour ce qui regarde la syntonisation du dispositif récepteur, à cette difficulté que l'antenne émet 2 ondes qui ont, outre une différence de longueur, aussi une différence d'amortissement. C'est la valeur du coefficient d'accouplement qui détermine ces différences, de sorte que l'influence d'un accouplement lâche ou d'un accouplement fixe est très importante dans la télégraphie

[1] *L'Eclairage électrique*, t. XXXVIII, 1904, p. 66.

sans fil. C'est ce que M. Wien[1] a mis le premier en évidence.

Degré d'accouplement. — On a déjà parlé (p. 37 et 38) de l'influence du degré d'accouplement sur la longueur des deux ondes rayonnées. Quant aux amortissements des deux ondes, M. Drude[2] en a donné les expressions suivantes, relatives à un accouplement fixe :

$$D_1 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \cdot \frac{n_1}{n_0}$$

et

$$D_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \cdot \frac{n_2}{n_0},$$

dans lesquelles :

D_1 et D_2 représentent le décrément logarithmique des deux ondes λ_1 et λ_2 après l'accouplement ;

σ_1 et n_1 le décrément et la fréquence du circuit condensateur avant l'accouplement ;

σ_2 et n_2 les mêmes facteurs pour l'antenne avant l'accouplement.

D'ailleurs (p. 37), comme avec un accouplement fixe on a les relations :

$$n_1 = n_0 \frac{1}{\sqrt{1-k}}$$

et

$$n_2 = n_0 \frac{1}{\sqrt{1+k}},$$

il s'ensuit, en tenant compte des expressions précédentes, qu'avec un accouplement fixe, D_2 ou le décrément de la plus grande onde émise par l'antenne, sera devenu beaucoup plus petit que le décrément σ_2 de l'antenne avant l'accouplement ; tandis que le décrément D_1 de la plus petite onde sera devenu bien plus grand.

Nous avons vu (p. 38) qu'avec un accouplement lâche, la longueur des deux ondes émises était à peu près la même. Les décré-

[1] *Ann. der Phys. Bd.* 8, 1902, S. 696.

[2] *Ibid.*, 13, 1904, S. 528.

ments D_1 et D_2 aussi seront à peu près de même grandeur et égaux à la moyenne arithmétique des décréments du circuit condensateur et de l'antenne[1]. Et comme maintenant le décrément et par suite aussi l'amortissement σ_1 du circuit condensateur est beaucoup plus faible que σ_2, celui de l'antenne (p. 46), avec un accouplement lâche une seule onde sera émise d'un amortissement beaucoup plus faible que celui de l'antenne, amortissement plus conforme au faible amortissement propre du circuit condensateur.

Cependant, avec un accouplement lâche on n'atteindra qu'une faible distance de communication, et lorsque celle-ci devient le principal objectif, il faudra recourir à un accouplement plus fixe. Il s'agit alors de savoir sur laquelle des deux ondes émises le récepteur devra être syntonisé. Si la syntonisation se faisait autrefois généralement sur l'onde de plus grande longueur, parce qu'on croyait qu'elle possédait un plus grand rayon d'action, aujourd'hui on syntonise dans la plupart des cas sur la plus petite des ondes[2]. Il est vrai d'autre part qu'en syntonisant sur la plus grande onde, l'énergie de la plus petite onde est inutilement perdue ; et dans le second cas, il en va de même de l'énergie de la plus grande onde. C'est M. Slaby[3] qui le premier suggéra l'opinion que, pour obtenir le maximum d'effet, il ne fallait pas établir un accord très net entre les oscillations du circuit condensateur et de l'antenne, mais provoquer au contraire une certaine discordance.

Dans la théorie[4] de la discordance de deux circuits accouplés on peut voir que si la fréquence des ondes diminue dans le circuit condensateur, l'amplitude de la plus grande des deux ondes émises sera renforcée aux dépens de l'autre onde. Si on augmente au contraire cette fréquence, il y aura renforcement de la plus petite des deux ondes. Ce renforcement ne dépend pas seulement des valeurs des amortissements des deux ondes, mais aussi du coefficient d'accouplement des circuits. La discordance doit être d'autant plus forte, que l'accouplement est plus fixe et l'amortissement de l'an-

[1] Quant aux relations qui existent, avec accouplement lâche, entre les décréments avant et après l'accouplement, nous renvoyons à un article de M. Wien dans les *Ann. der Phys. Bd.* 8, 1902, S. 696.

[2] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1905, S. 87.

[3] *Ibid.*, 1904. S. 1091.

[4] *Ann. der Phys. Bd.* 13, 1904, S. 512.

tenne plus grand. Ces conclusions, déduites théoriquement, ont été confirmées plus tard par des expériences. Les expériences de M. Slaby[1], entre autres, ont montré que la plus petite onde avait un plus grand rayon d'action que la grande. Par conséquent, pour obtenir le maximum d'effet, on devra renforcer l'amplitude de la petite onde. Or, on a vu qu'on peut atteindre ce but en augmentant la fréquence du circuit condensateur, en d'autres termes, en syntonisant ce circuit sur une plus petite longueur d'onde que l'antenne. On syntonisera alors naturellement le circuit récepteur sur la plus petite des deux ondes émises.

Ce qui précède s'applique à un circuit condensateur et à une antenne en accouplement fixe. Avec l'ancien dispositif Marconi, ce sera la plus grande onde, c'est-à-dire l'onde fondamentale qui aura le plus grand rayon d'action. On applique encore cet arrangement quand il s'agit d'atteindre une grande distance de communication; mais les ondes émises seront alors très amorties, de sorte qu'on ne pourra pas obtenir une syntonisation bien nette. En général il est difficile, pour ne pas dire impossible, de faire concorder une syntonisation aiguë avec une grande distance de communication.

Les ondes émises par l'antenne transmettrice engendrent dans l'antenne réceptrice 2 oscillations : l'une avec la fréquence et l'amortissement des ondes émises, et l'autre avec la fréquence et l'amortissement de l'antenne réceptrice. L'amplitude des vibrations dans cette antenne atteindra son maximum si l'antenne est syntonisée sur les ondes émises. Il n'est pas nécessaire, du reste, que cette syntonisation soit bien nette ; car, à cause de l'amortissement élevé de l'antenne réceptrice, cette amplitude ne diminuera guère avec une faible discordance. Avec un accouplement lâche dans le dispositif récepteur, il se produira également dans ce circuit 2 oscillations : les oscillations induites et les oscillations propres. Comme, dans ce cas, ces dernières ne sont que faiblement amorties, l'accord entre l'antenne et le circuit récepteur doit être très net.

Expérience de Lodge. — De ce qui précède on peut voir que la

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1905, S. 1149.

résonance est un phénomène assez compliqué quand il peut y avoir réaction de l'un des circuits sur l'autre. C'est seulement quand cette réaction ne peut pas se produire que la résonance électrique est un phénomène simple. Ceci peut être démontré de différentes manières. M. Lodge, par exemple, en donna la preuve expérimentale suivante :

Deux condensateurs A et B (fig. 46) de même capacité, sont munis de conducteurs de dimensions égales. Dans le circuit du

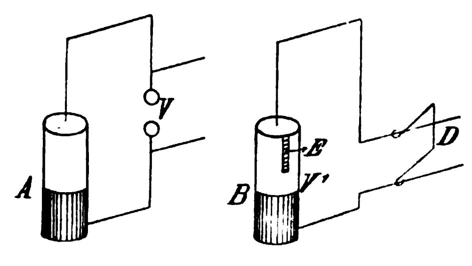


Fig. 46.

condensateur A on a placé l'oscillateur V et si le rapport entre la résistance, la self-induction et la capacité a été bien choisi, il pourra se produire une décharge oscillante dans le circuit AV.

Le circuit du second condensateur est tel que l'on peut varier la self-induction en déplaçant le pont D. Une feuille de clinquant E, reliée à l'armature intérieure est collée au verre à quelque distance de l'armature extérieure. De cette manière les décharges de ce condensateur peuvent être conduites le long de la surface du verre.

En déplaçant maintenant le pont D, on pourra facilement obtenir la même période de vibration pour les deux systèmes ; et si cette égalité est atteinte, il arrivera que si une étincelle jaillit en V, il en jaillira aussi une en V¹, même quand les deux condensateurs sont placés à une certaine distance l'un de l'autre. Si l'égalité des périodes est atteinte par exemple dans la position indiquée par D, les étincelles en V¹ deviendront plus petites, quand on déplace D. Dans cette expérience la self-induction et la capacité des deux circuits étaient égales ; mais comme la durée d'une oscillation est dépendante du produit de ces deux facteurs, il suffit que ce produit soit le même pour les deux circuits.

Avec l'expérience de Lecher, où celui-ci démontra clairement l'existence d'ondes stationnaires dans des fils rectilignes (fig. 6) le phénomène de la résonance est en même temps indiqué.

Le premier, qui appliqua les phénomènes de résonance aux courants alternatifs de haute fréquence pour obtenir des actions énergiques, fut M. Tesla, tandis que M. Marconi réussit à augmenter considérablement la distance de communication en appliquant le principe de syntonisation dans la télégraphie sans fil.

Si l'on prend un circuit de transmission et un circuit de réception, il faut, pour obtenir un effet maximum, chercher à établir un accord :

1° Entre les oscillations du circuit transmetteur et la période propre de l'antenne transmettrice ;

2° Entre les périodes propres des antennes de transmission et de réception ;

3° Entre la période propre de l'antenne de réception et les oscillations du circuit récepteur.

Nous allons voir maintenant comment on a obtenu la syntonisation dans quelques systèmes ; et nous commencerons par celui dont on a les descriptions les plus détaillées, le système de la **Gesellschaft für drahtlose Telegraphie**. Société fondée en 1903 et qui prit les brevets de Slaby-Arco et de Braun-Siemens.

Dans l'ancienne méthode de syntonisation le circuit de transmission était syntonisé sur l'antenne transmettrice par l'intercalement d'un ampèremètre thermique de 0,1 à 0,5 amp., dans l'antenne transmettrice dans le voisinage d'un ventre de courant. On faisait varier la fréquence des décharges jusqu'à ce que l'ampèremètre indiquât un maximum d'intensité. En ce qui concerne la syntonisation indiquée sous les n°s 2 et 3, elle ne pouvait se réaliser d'abord que par des tâtonnements ; lorsqu'il s'agissait d'une installation sur un vaisseau, on se trouvait en présence de grandes difficultés. M. le comte Arco, actuellement un des directeurs de la « G. f. d. T. », vainquit ces difficultés par l'invention d'une nouvelle méthode de syntonisation ; cette méthode peut être le mieux expliquée par les expériences qui ont fait trouver la nouvelle manière de syntonie.

Supposons une station transmettrice avec laquelle on donne

constamment un signal, toujours le même, et par exemple trois postes récepteurs, tous munis d'antennes de transmission de différentes longueurs. La figure 47 représente un poste récepteur dans lequel A est l'antenne de réception, C le cohéreur, S_l et S_a des

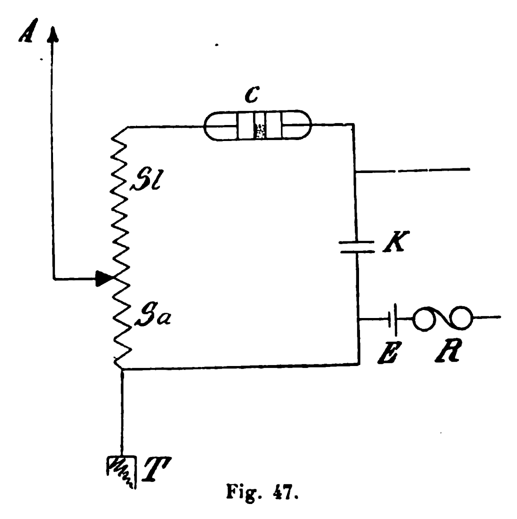


Fig. 47.

spires avec lesquelles l'accord des périodes sous 2 et 3 peut être obtenu et K un condensateur avec lequel la pile du cohéreur E, le relais R, etc. sont montés en dérivation. Nous renvoyons à la figure 90 pour le montage complet.

On constata avec ces expériences que, nonobstant les différences de longueurs des antennes, quand la syntonisation était réalisée, $S_l + S_a$ avait la même valeur pour toutes les trois stations réceptrices, tandis que S_l et S_a individuellement étaient différentes pour les trois stations. Donc comme la période des oscillations des stations était égale à celle des ondes émises et ainsi égales entre elles et que cette période est proportionnelle au produit CL, il s'ensuit, L étant le même, que C avait la même valeur pour tous les trois circuits récepteurs. La capacité résultante C d'un circuit récepteur se compose de la capacité du cohéreur et de celle du condensateur, montés en série.

Nommons C_c la capacité du cohéreur et K_c la capacité du condensateur, la capacité résultante C sera :

$$C = \frac{C_c \times K_c}{C_c + K_c},$$

tandis que la self-induction du circuit récepteur se compose de la self-induction des bobines S_l et S_a montées en série ; la self-induction résultante L est donc :

$$L = S_1 + S_a,$$

S_l et S_a représentant en même temps la self-induction de chacune de ces bobines.

Si nous nommons C_l et L_l respectivement la capacité et la self-induction du circuit transmetteur, on aura :

$$L_1C_1 = (S_1 + S_a)\frac{C_c K_c}{C_c + K_c}.$$

Dans les expériences on avait :

$$L_1C_1 = \frac{(S_1 + S_a)\,K_c}{1\,000} \text{ environ,}$$

d'où il suit :

$$\frac{C_c}{C_c + K_c} = \frac{1}{1\,000} \text{ environ.}$$

Dans les expériences on avait $K_c = 0{,}01$ microfarad et ainsi C_c aurait été égal à 0,00001 microfarad environ.

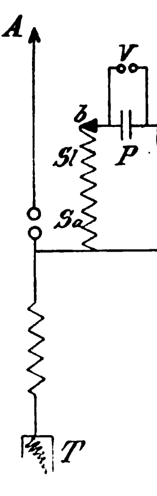


Fig. 48.

Comme C_c et K_c sont montées en série, il ressort de ces valeurs, que la syntonisation est déterminée en majeure partie par la capacité du cohéreur et par la self-induction de la bobine ; une variation de la valeur de K_c n'a, dans certaines limites, aucune influence sur la période du circuit récepteur.

Il est donc important de mesurer la capacité du cohéreur.

La figure 48 nous donnera une idée de la manière dont M. le comte Arco détermina des petites capacités pareilles. La self-induction, de valeur $S_l + S_a$, fut reliée au même transmetteur, avec lequel on avait fait les expériences, tandis qu'au lieu du cohéreur on intercala un condensateur réglable P, formé de lames de verre. On varia alors la capacité de ce condensateur jusqu'à ce qu'on obtînt la résonance entre les oscil-

lations de l'antenne A, et celles du circuit fermé, et cela fut constaté à l'aide d'un micromètre à étincelles V ; la résonance était réalisée, lorsque les étincelles avaient le maximum d'éclat. La capacité du condensateur, nommé cohéreur-condensateur par M. le comte Arco, était ainsi égale à celle du cohéreur. En examinant différents cohéreurs de la G. f. d. T., on trouva leurs capacités à peu près égales et ainsi il fut possible de syntoniser d'avance une station réceptrice sur une station transmettrice, ce qui se fait de la manière suivante. Sur un cylindre d'ébonite on enroule un fil nu et mince, sur lequel un curseur peut être déplacé de haut en bas le long d'une échelle divisée. Cette bobine enroulée doit être parfaitement égale à la bobine de syntonisation qui est montée plus tard dans le circuit récepteur. Ensuite cette bobine, avec le cohéreur-condensateur, est introduite dans le circuit oscillateur (fig. 48) par le déplacement d'un contact *b*, la longueur des spires intercalées peut être modifiée jusqu'à ce qu'on ait obtenu la syntonie entre les oscillations de l'antenne transmettrice et celles du circuit fermé. La longueur des spires intercalées est alors naturellement égale à $S_l + S_a$. Alors la bobine est apportée à la station réceptrice et là reliée comme l'indique la figure 49. Il n'est pas nécessaire que des ondes soient engendrées dans l'antenne de réception A par un poste éloigné, car cela peut se faire sur place d'une manière quelconque. Le curseur *a* sera déplacé jusqu'à ce que en V jaillissent les étincelles les plus intenses ce dont on peut conclure que la bobine de mesure, chargée avec le cohéreur-condensateur P, est en résonance avec les vibrations propres de l'antenne de réception. De cette manière les valeurs de S_l et S_a sont déterminées séparément et pour la bobine de syntonisation, dont il faudra se servir plus tard, on sait où les curseurs *a* et *b* doivent être placés, pour que les conditions sous 2 et 3 soient remplies : le circuit récepteur syntonisé sur l'antenne de réception et celle-ci sur l'antenne de transmission.

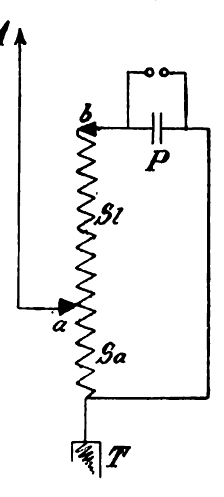


Fig. 49.

Dans les derniers temps, les bobines de mesure ne sont plus

chargées avec un cohéreur-condensateur par la G. f. d. T., mais on calcule un facteur de réduction, avec lequel le nombre des spires de la bobine déchargée doit être multiplié pour être égal au nombre des spires de la bobine, chargée avec le cohéreur-condensateur.

Dans les stations à grande sphère d'action la G. f. d. T. se sert comme source d'énergie d'une dynamo à courant alternatif qui alimente une ou plusieurs bobines d'induction. La figure 50

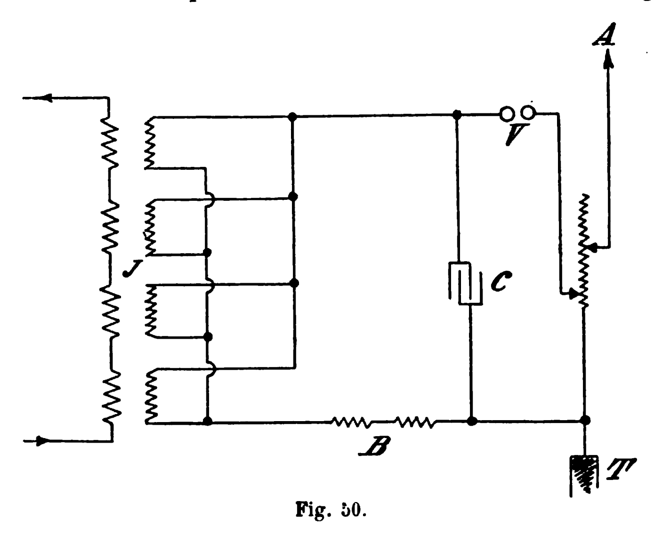


Fig. 50.

représente cet arrangement de la station de Nauen (p. 179). Outre les syntonies mentionnées plus haut sous 1°, 2° et 3°, on a cherché ici à établir l'accord entre la fréquence du courant alternatif et les oscillations propres du circuit formé par les condensateurs C, les bobines de self-induction B et l'enroulement secondaire des bobines d'induction J. De là aussi le nom d' « inducteurs à résonance » donné par la « G. f. d. T. » à ces bobines[1]. Par cette syntonisation et par un accouplement lâche des circuits primaire et secondaire — particularités propres aux inducteurs à résonance — il arrivera que la tension, d'abord assez petite aux boules de l'excitateur, augmentera et après quelques oscillations elle sera

[1] Les points de vues intéressants relatifs au fonctionnement et à la construction des inducteurs à résonance ont été déduits mathématiquement par M. Seibt dans la *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1904, S. 276, et par M. Benischke dans la *Elektrotechn. Zeitschr.* 1907, S. 25.

assez forte pour franchir la coupure. Pour que la résonance soit bien marquée, il faut un accouplement assez lâche et on doit éviter toutes les pertes d'énergie dans le circuit CJB, pertes qui pourraient occasionner une augmentation de l'amortissement. Et voilà pourquoi on se sert d'inducteurs à circuit magnétique ouvert et non d'inducteurs à circuit magnétique fermé, eu égard aux effets d'hystérésis.

Remarquons ici qu'avec cet arrangement il ne peut pas se produire un arc permanent en V au moment de la fermeture du courant dans le circuit primaire ; et ensuite on a l'avantage de consommer beaucoup moins d'énergie. Si le nombre de périodes du courant alternatif est de 50, il ne jaillira pas 100 étincelles par seconde, mais par exemple 20. Ce nombre est plus que suffisant et pour les récepteurs employés par la « G. f. d. T. » et pour la vitesse de transmission ; il s'ensuit une grande économie d'énergie primaire.

M. le comte Arco déclare qu'à présent la syntonisation dans le système de la « G. f. d. T. » est telle que leurs stations ne peuvent être appelées que par les stations étrangères, dont la longueur d'onde diffère de 3 p. 100 ou moins de la leur.

Sur cette déclaration M. Fessenden publia dans un article inséré dans l'*Electrician* [1], qu'il lui a été possible, avec l'ancienne manière de syntonisation (il entend par là l'antenne réceptrice accordée avec le circuit récepteur) d'intercepter des signaux d'un poste de transmission, quand le récepteur était shunté à 1/650 de sa valeur, ainsi moins de 1/6 de 1 p. 100. Avec la nouvelle manière de syntonisation que M. Fessenden, aujourd'hui directeur de la **National Electric Signalling Company**, pratique depuis quelque temps dans ses stations nouvellement élevées, l'interférence qui se produisait avec l'ancienne méthode de syntonisation fut cependant réduite à ± 1/2000 partie de la valeur. Il y arrive en se servant d'un manipulateur spécial qui établit ou détruit la résonance entre les appareils transmetteur et récepteur. Quand on transmet des radiotélégrammes, le Ruhmkorff fonctionne en permanence et des étincelles jaillissent continuellement entre les boules de l'oscil-

[1] *The Electrician*, Sept. 16, 1904, p. 882.

lateur, tandis qu'en abaissant le manipulateur, qui est placé dans le circuit secondaire du Ruhmkorff, le dispositif de syntonisation, intercalé entre le manipulateur et la terre, est mis plus ou moins en court-circuit. Par là, C et L de ce dispositif varieront et la résonance entre le transmetteur et le récepteur sera interrompue.

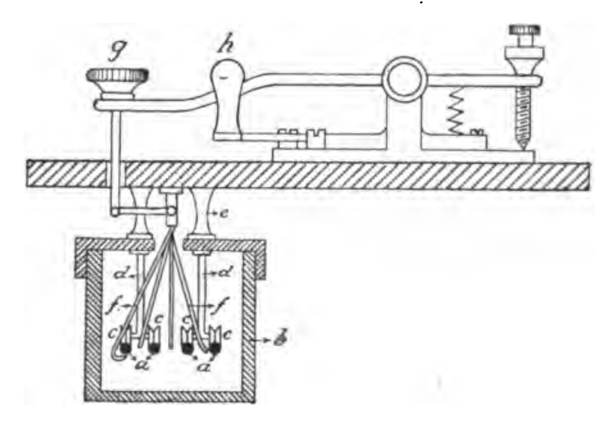


Fig. 51.

M. Fessenden, avec ce dispositif de syntonisation (fig. 51, 52 et 53), ne se sert pas d'une bobine, mais de plusieurs fils *a*, tendus les uns très près des autres, montés en série et placés

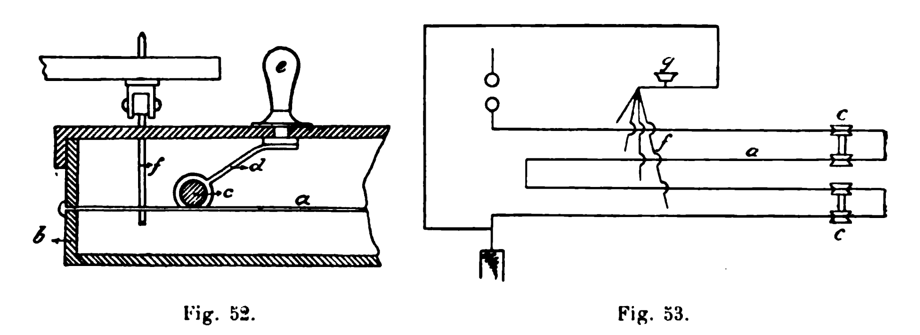


Fig. 52. Fig. 53.

dans un récipient *b* qui est rempli d'huile. D'après M. Fessenden, l'avantage de ces fils rectilignes, c'est que l'on peut obtenir entre C et L un rapport tel, qu'il se produit des ondes sinusoïdales pures.

Avec des bobines de syntonisation cela n'est pas possible, car dans ce cas L est trop grand par rapport à C. L'huile sert à

augmenter la capacité des fils et en tendant les fils très près les uns des autres la self-induction devient petite. Les contacts *c*, qui peuvent être déplacés au moyen des boutons *e*, reposent sur chaque paire de fils et forment entre ceux-ci une connexion conductrice. Ces contacts se placent de façon à obtenir la syntonisation.

Le manipulateur est relié à la terre (fig. 53) et le bouton *g* est muni d'une allonge verticale à l'extrémité de laquelle se trouve un contact qui, par l'abaissement de la clef viendra en communication avec un fil du dispositif de syntonisation ; de cette manière une partie des fils sera montée en dérivation avec l'autre partie, ce qui aura pour conséquence de détruire la résonance. En portant sur le manipulateur plusieurs de ces contacts *f* (dans les fig. 51 et 53 on en a indiqué quatre) qu'on place en différents points et qui, suivant la position du manipulateur, feront successivement contact avec les fils en différents moments et en différents points, une plus ou moins grande partie des fils pourra être montée en dérivation. En abaissant 1 fois le manipulateur, la self-induction et la capacité sera donc variée 4 fois. La période des oscillations du circuit transmetteur peut donc être modifiée à volonté et pour ne pas rendre trop petites les variations de période, les places des contacts ne doivent pas être à une trop petite distance les unes des autres. Avec ce dispositif il est nécessaire que la station réceptrice ajuste son dispositif récepteur sur les valeurs, qui lui auront été communiquées d'avance. Pour compléter, nous ajouterons que dans la figure 51 *h* est un bouton, avec lequel on peut passer de la transmission à la réception ou inversement.

La « National Electric Signalling Company » publia qu'en août 1904 la « U. S. Navy Wireless Board » fit une expérience avec sa méthode pour étudier les limites de l'interférence. Trois stations, chacune avec une puissance de 2 chevaux avaient été placées respectivement à des distances de 8 000, 900 et 270 mètres du poste récepteur et une station, avec une puissance de 10 chevaux, à une distance de 157 mètres. Les 4 stations furent mises en fonction en même temps ; il en résulta, que la dernière station seule pouvait empêcher la réception exacte des signaux.

Dans l'« Electrical World and Engineer » du 19 septembre 1904,

M. Fessenden décrivit un système différent entièrement de celui ci-dessus et qui revient à ce principe, que deux ou plusieurs trains d'ondes sont émis au moyen de deux ou plusieurs antennes transmettrices.

Chaque groupe a une longueur d'onde déterminée et en variant

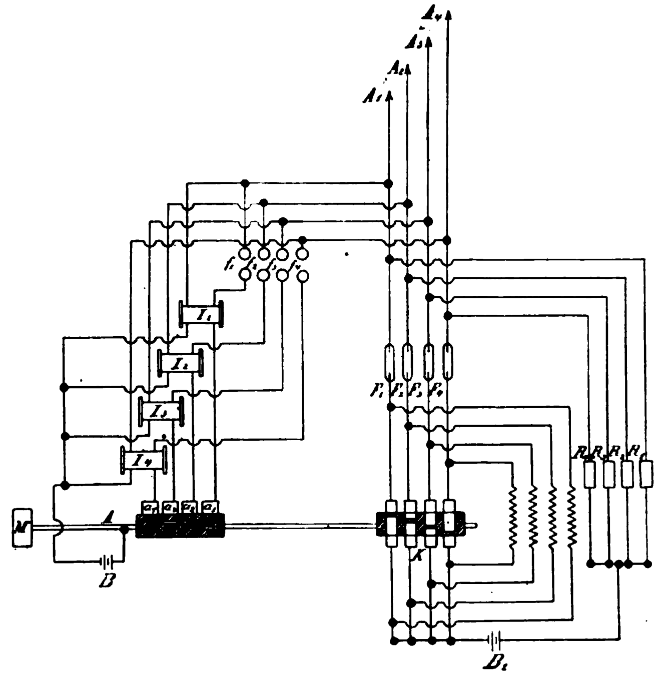


Fig. 54.

l'ordre avec lequel ces groupes sont émis on peut obtenir un grand nombre de combinaisons. Le récepteur doit être alors syntonisé et sur la longueur d'onde et sur l'ordre des groupes.

Dans la figure 54 le dispositif est représenté schématiquement pour 4 antennes A_1, A_2, A_3 et A_4. Ces antennes sont reliées à une boule des oscillateurs f_1, f_2, f_3 et f_4 et aussi à une des bornes des barretters (voy. p. 90) F_1, F_2, F_3 et F_4. La seconde boule des oscillateurs est reliée à l'extrémité des enroulements secondaires des bobines d'induction I_1, I_2, I_3 et I_4, tandis que l'autre extrémité des enroulements secondaires est reliée à la première boule. L'une des extrémités de l'enroulement primaire des bobines est

reliée à un des pôles de la batterie B, et l'autre pôle de la batterie à l'axe A, qui est mû d'un mouvement rotatoire au moyen d'un moteur M. Sur l'axe est fixé un cylindre U en matière isolante, pourvu de quatre contacts métalliques qui sont reliés électriquement à l'axe. Pendant la rotation du cylindre, ces contacts sont successivement en communication avec les balais a_1, a_2, a_3 et a_4, qui sont reliés à l'autre extrémité de l'enroulement primaire des bobines. De cette manière les bobines d'induction sont excitées l'une après l'autre et successivement des ondes prennent naissance dans les différentes antennes.

Comme les contacts peuvent être déplacés sur le cylindre, il est possible de varier l'ordre dans lequel les trains d'ondes sont émis. La période des différents groupes peut être variée de la manière ordinaire par la variation du produit CL.

Si le circuit récepteur appartenant à chaque antenne réceptrice est syntonisé sur le circuit transmetteur correspondant, alors chaque circuit récepteur ne sera influencé que par des ondes du circuit transmetteur correspondant et dans l'ordre qui a été indiqué par la position des contacts sur le cylindre.

Pour cela cependant, il faut que les circuits récepteurs soient fermés, quand ils sont actionnés par des ondes, ce qui peut s'obtenir par un cylindre K, comme l'indique la figure ; ce cylindre est mis en mouvement par le même axe que le cylindre U. Un circuit récepteur, dans lequel on a introduit une batterie B et par exemple le relais R_1, se fermera au même instant où le barretter correspondant est frappé par les ondes. Ensuite le dispositif est encore arrangé de cette façon, qui n'est pas indiquée dans la figure 54, que quand tous les relais R_1, R_2, R_3 et R_4 seront actionnés, l'appareil récepteur proprement dit donnera alors un signal visible ou intelligible. Si le fonctionnement des divers relais n'a pas lieu dans l'ordre déterminé d'avance, le signal ne se produit pas. Que les moteurs dans les stations transmettrice et réceptrice tournent synchroniquement est naturellement une condition indispensable. Il sera maintenant clair que les signaux ne pourront être reçus que quand les longueurs d'ondes des différents trains d'ondes et les intervalles entre ces trains sont les mêmes pour les deux stations.

Marconi Wireless Telegraph C° Ltd. — Dans les expériences que fit M. Marconi, en 1901, entre Biot et Calvi, la syntonisation laissait encore beaucoup à désirer. Quand on émettait des ondes d'une longueur de 300 mètres et que l'on intercalait dans la même antenne deux récepteurs, dont l'un était syntonisé pour 70 mètres et l'autre pour 300 mètres, il était très difficile de percevoir clairement un seul signal. L'influence de l'une des stations sur l'autre était souvent fort gênante, de sorte qu'alors la grande distance à laquelle on pouvait correspondre était le seul succès que l'on pût constater.

M. Marconi a peu publié en ce qui concerne la méthode de syntonisation qu'il applique maintenant. Ainsi pour les expériences qu'il fit à travers l'Atlantique, il dit seulement, en parlant de la syntonie, qu'elle était si marquée que, en transmettant les dépêches de la station Poldhu à des distances de 1 600 kilomètres, les appareils dans la station du cap Lizard — distante de Poldhu de 11 kilomètres — ne subirent pas la moindre influence. Dans le *Electrician*[1] on a publié un extrait d'un brevet d'invention de M. Marconi pour une méthode de syntonisation qui, selon lui, conduit non seulement à une syntonie parfaite, mais qui en même temps diminue considérablement l'influence de l'électricité atmosphérique.

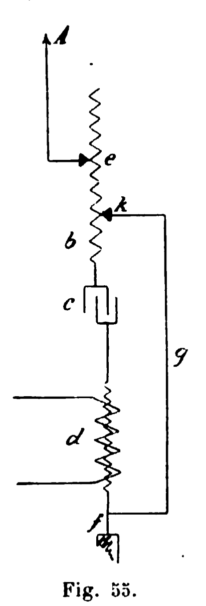


Fig. 55.

Dans la figure 55, A est l'antenne de réception, *b* une bobine de self-induction, *c* un condensateur, *d* le détecteur magnétique (p. 85) dont l'extrémité *f* est mise à la terre. Le fil conducteur *g* qui est de même mis à la terre à l'une de ses extrémités est pourvu à son autre extrémité d'un curseur *k*, dont la place sur la bobine *b* dépend de la période des ondes à recevoir. La syntonisation a lieu de la manière suivante :

Le curseur *e* est déplacé de manière que des signaux sont perçus au moyen du détecteur. En déplaçant le curseur *k*, on peut trouver un point où les ondes de

[1] *The Electrician*, Juli 15, 1904, p. 511.

cette période-là que l'on désire recevoir sont perçues par le détecteur, à l'exclusion des ondes originaires de stations avec d'autres

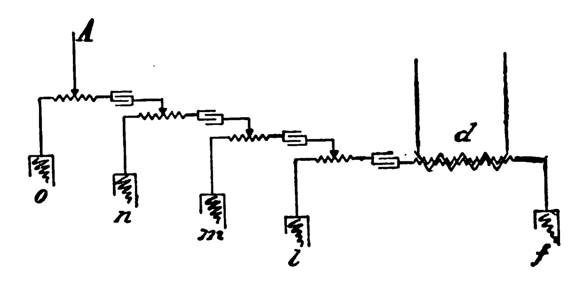


Fig. 56.

longueurs d'onde. Il est préférable, que le curseur *k* se trouve sur un point de la bobine où il y a un nœud de tension.

La figure 56 nous montre une série de tels circuits, dont chacun

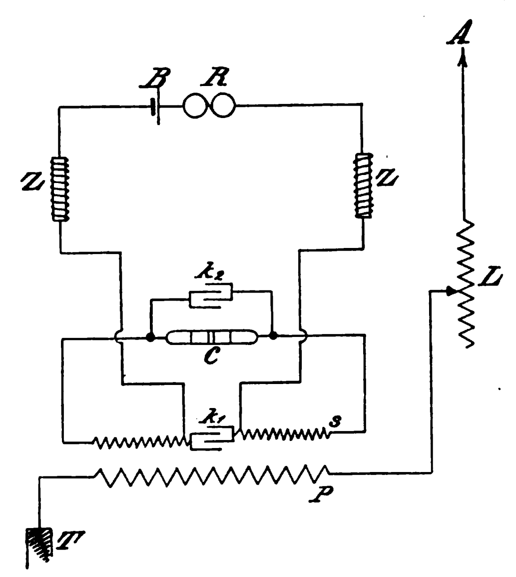


Fig. 57.

est accordé pour la période des ondes transmises, tandis que les nœuds de tension sont mis à la terre aux points *f*, *l*, *m*, *n* et *o* et la place de ces nœuds est déterminée par la longueur des ondes qu'on veut recevoir. Selon M. Marconi, c'est surtout avec ce dispositif que les signaux dus à l'influence de l'électricité atmos-

phérique pourront être évités. Avec le dispositif Marconi indiqué dans la figure 57 cette influence se trouve aussi réduite à son minimum. Dans cet arrangement on se sert d'un transformateur d'une construction très curieuse (fig. 78). Comme le fonctionnement du cohéreur ne dépend pas tant de l'intensité des ondes que de la différence de potentiel produite aux pôles du cohéreur, on obtient une action renforçante des ondes sur le cohéreur et, par là, la distance de communication est considérablement augmentée.

Dans la figure, P représente l'enroulement primaire du transformateur dont les extrémités sont reliées respectivement à l'antenne A et à la terre T. Au milieu de l'enroulement secondaire S est intercalé un condensateur K_1, sans quoi le relais R serait toujours actionné. Pour syntoniser le dispositif sur la période des oscillations transmises, il est nécessaire de réaliser deux accords :

1° Celui du circuit comprenant l'antenne, la self-induction L et le primaire P du transformateur;

2° Celui du circuit constitué par l'enroulement secondaire S, le condensateur K_1 et le cohéreur C.

Comme ce cohéreur possède une capacité très faible et même variable, un condensateur réglable K_2 est mis en dérivation ; de sorte que la fréquence de l'oscillation propre dans ce dernier circuit peut être maintenue constante. Le but des bobines de self-induction Z est d'empêcher que les ondes induites dans l'enroulement secondaire du transformateur, ne prennent leur chemin par le circuit qui contient le relais R et la batterie B, car l'action des ondes sur le cohéreur serait affaiblie par là.

Stone. — M. Stone, avec son système, cherche à réaliser que le transmetteur n'émette que des ondes sinusoïdales d'une seule période et que le récepteur ne fonctionne que sous l'action de ces ondes et reste insensible aux ondes d'une autre longueur. Il partit de ce phénomène qu'un circuit, qui possède de la self-induction et de la capacité, n'a pas de période propre d'oscillation très nette, mais qu'il s'y produit des oscillations de différentes périodes qui se superposent les unes aux autres.

Quand un pareil circuit est accouplé inductivement avec un second, la période propre d'oscillation des deux circuits varie ;

cependant cette variation sera très minime si $L_1 \times L_2$ est beaucoup plus grand que M^2, si en d'autres termes l'accouplement est très faible (p. 33). Si dans le premier circuit, outre l'oscillation principale, il se produit aussi des ondes supérieures, l'apparition de ces dernières sera supprimée par la transformation en un circuit secondaire qui aura la même période que le primaire. Les oscillations sont alors, pour ainsi dire, filtrées, et en transformant ces oscillations encore une fois, on peut obtenir dans le dernier

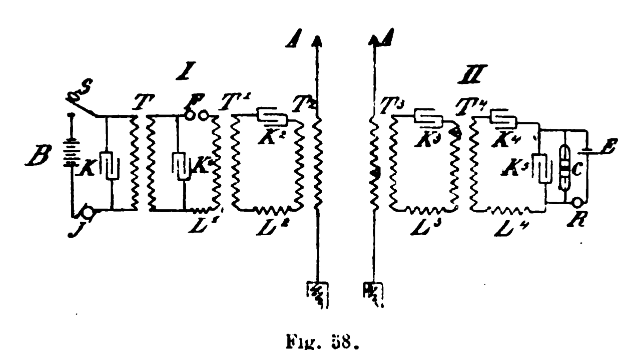


Fig. 58.

circuit des oscillations d'une période bien marquée, sans harmoniques[1].

La figure 58 représente schématiquement une station transmettrice (I) et une station réceptrice (II).

Dans le circuit primaire du transformateur T, la source d'énergie B, le manipulateur S et l'interrupteur J sont disposés en série et un condensateur K est en dérivation. Le circuit secondaire de ce transformateur contient une coupure F, un condensateur K^1 et des spires de self-induction L^1. Si une décharge se produit dans ce circuit , elle sera oscillatoire et la période peut être réglée en réglant les valeurs de K^1 et de L^1. Avec ce circuit, on a accouplé inductivement un autre circuit, contenant le condensateur K^2 et la self-induction L^2. Les valeurs de K^2 et de L^2 doivent être prises de façon que les oscillations dans ce circuit soient en résonance avec celles du précédent. L'antenne transmettrice, au moyen du transformateur T^2, est accouplée inductivement avec le dernier

[1] M. Pupin appliqua une méthode semblable dans ses recherches sur la téléphonie à longue distance. (*Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. April 1900, p. 262.)

circuit et doit être aussi syntonisée. Les transformateurs T^1 et T^2 sont composés de peu de spires, enroulées sur des cadres en bois, qui sont placés à peu de distance l'un de l'autre et avec lesquels on obtient un accouplement lâche.

Le dispositif récepteur est aménagé de la même manière. Les ondes, recueillies par l'antenne, sont transformées par le transformateur T^3 dans un circuit qui, au moyen du condensateur réglable K^3 et de la self-induction L^3, est syntonisé pour les ondes qu'on veut recevoir. Si ces ondes n'ont pas une seule période, mais qu'il se trouve parmi elles des ondes d'un nombre de périodes plus grand, ces dernières seront arrêtées à la transformation au moyen du transformateur T^4. Dans le circuit récepteur proprement dit, où ont été placés le cohéreur C, la pile de cohéreur E et le relais R, il ne se produira que des ondes d'une seule période déterminée.

Avec ce système, il faut faire attention qu'il n'y ait pas de perte par l'hystérésis et par l'hystérésis diélectrique, car elles exercent une influence nuisible sur la production de la résonance. C'est pourquoi M. Stone ne se sert pas de bouteilles de Leyde, dont l'hystérésis diélectrique peut être très grande (p. 34) mais de condensateurs à air ; et afin d'éviter des pertes d'hystérésis il fait usage de bobines enroulées sur du bois.

Dans les expériences avec ce système, effectuées à Cambridge et à Lynn, où le dispositif récepteur avait été syntonisé pour une longueur d'onde déterminée et où un maximum d'action avait été obtenu, les signaux disparurent complètement, quand la période des ondes dans la station transmettrice subissait une variation de 10 p. 100.

Anders Bull. — M. Anders Bull décrivit dans l'*Electrician*[1] un système de télégraphie sans fil, qui est remarquable par une syntonisation mécanique et non électrique entre les appareils de transmission et ceux de réception.

Au lieu de se servir seulement d'impulsions d'ondes dans la transmission des signaux, M. Bull se sert d'un certain nombre

[1] *The Electrician,* January 2, 1903, p. 418.

d'impulsions, qui se suivent dans des intervalles déterminés d'avance. Si, par exemple, on envoie une série de cinq impulsions avec des intervalles de temps de *a*, *b*, *c* et *d* pour transmettre un point de l'alphabet Morse, un appareil récepteur syntonisé sur ces

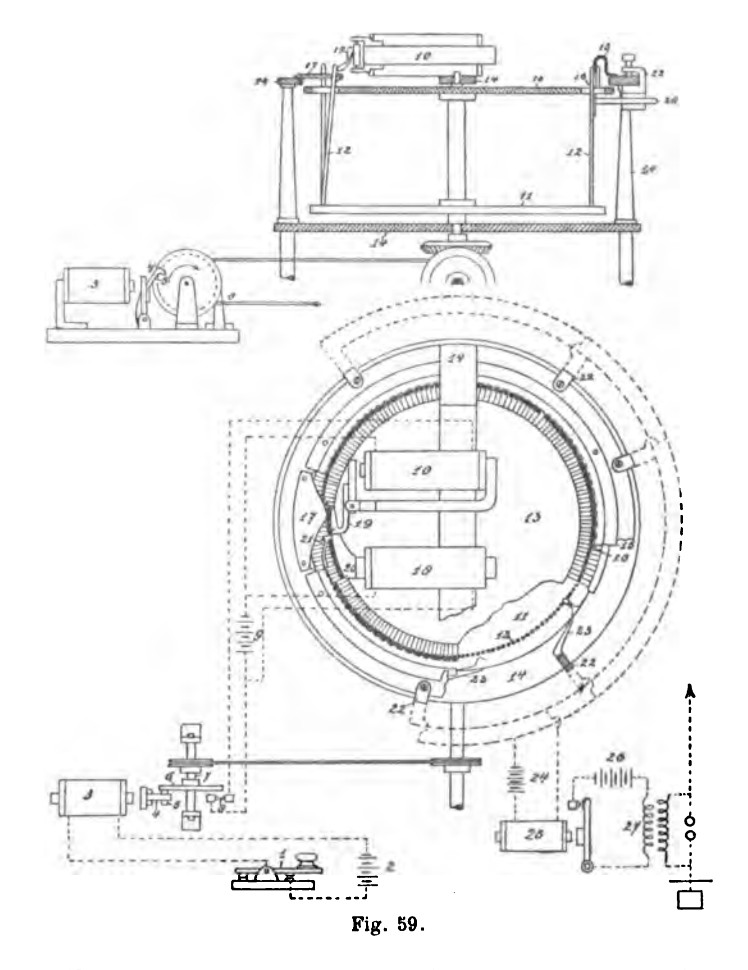


Fig. 59.

intervalles enregistra les cinq impulsions comme un point sur la bande de papier. A la transmission d'un trait on émet cinq groupes d'impulsions qui seront reçus par l'appareil récepteur comme une série de points placés les uns très près des autres, c'est-à-dire comme un trait. Quand une station transmettrice veut correspondre avec une autre station, les intervalles *a*, *b*, *c* et *d* entre les impulsions d'ondes sont variés. Ainsi il est possible de se

mettre en relation avec un nombre de postes récepteurs arbitraire, sans que les signaux soient interceptés par d'autres stations. La transformation des signaux Morse de la station transmettrice, en séries d'impulsions d'ondes et la transformation de celles-ci dans la station réceptrice en signaux Morse se produit automatiquement au moyen de deux appareils : le « disperseur » qui est monté dans la station transmettrice et le « collecteur » dans la station réceptrice. L'émission se fait de la manière ordinaire au moyen d'une clef de Morse.

La figure 59 représente le schéma des connexions de la station transmettrice. En abaissant la clef 1, un courant de la batterie 2 est envoyé dans l'enroulement de l'électro-aimant 3 ; l'armature de cet aimant est munie d'un petit crochet 4, qui retient une petite partie saillante 5 sur le disque 6 ; ce dernier est monté à simple frottement sur l'axe 7, qui tourne avec une vitesse de ± cinq rotations par seconde. Cependant le frottement est tel que l'axe peut faire tourner le disque, quand celui-ci n'est pas retenu par le petit crochet 4, ce qui arrivera donc quand l'armature de l'électro-aimant sera attirée. Pendant la rotation du disque, la petite partie 5 fera contact avec les petits ressorts 8 et fermera un circuit dans lequel une batterie 9 et un électro-aimant 10 ont été intercalés. Quand on n'abaisse la clef de Morse que le temps qu'il faut pour la transmission d'un point, le crochet 4, après avoir lâché le disque, retournera dans sa position normale et retiendra le disque après que celui-ci aura accompli 1 rotation. Si l'on avait abaissé la clef plus longtemps, pour la transmission d'un trait, le disque aurait pu accomplir plusieurs rotations, le contact 8 aurait été fermé plusieurs fois à des intervalles de 1/5 de seconde, de sorte que l'électro-aimant aurait été excité plusieurs fois.

Le disperseur ou « distributeur » consiste en un disque 11 sur lequel ont été placés verticalement 400 ressorts d'acier 12, rangés concentriquement. Les extrémités supérieures de ces ressorts passent librement dans des fentes radiales d'un second disque 13 et les deux disques, qui sont montés sur le même axe, tournent dans la carcasse 14, avec une vitesse de cinq rotations par seconde. A la carcasse 14 est fixée un anneau 15 et le long de la partie intérieure de cet anneau se meuvent les extrémités supé-

rieures des ressorts. Dans cet anneau se trouve une rainure 16 en forme de Ω tandis qu'une partie de l'anneau a été enlevée et remplacée par un morceau de bronze 17, par lequel les extrémités des ressorts qui passent sont poussées vers la pièce polaire de l'électro-aimant 18 ; ce dernier est constamment excité par le courant de la batterie 9. Quand le crochet 19, qui est attaché à l'armature de l'électro-aimant 10, est à son état normal, les ressorts en passant devant l'armature de l'électro-aimant 18, sont attirés pour être relâchés quand ils sont arrivés à 20 et alors les ressorts se meuvent, pendant la rotation des disques, dans l'intérieur le long de la boucle. Si cependant l'électro-aimant 10 est actionné, le crochet 19 ramène en arrière la pièce polaire de l'électro-aimant 18, et quand les ressorts passent, ils sont poussés dans la rainure 16, où ils resteront pendant la rotation du disque. Autour de la circonférence du distributeur se trouvent un certain nombre de contacts 22, qui consistent en deux ressorts 23, isolés l'un de l'autre, et qui peuvent être placés dans toute position voulue. Les contacts sont placés de façon qu'ils ne peuvent être touchés par les ressorts, si ces derniers se meuvent dans l'intérieur le long de l'anneau; si le mouvement des ressorts a lieu dans la rainure 16, les ressorts des contacts sont pressés ensemble. Cela n'aura lieu que quand l'électro-aimant 10 sera excité; dans ce cas les contacts sont fermés les uns après les autres et un courant de la batterie 24 traverse l'électro-aimant 25. L'armature de cet aimant est alors attirée, par là, la batterie 26 est fermée et un courant est envoyé par l'enroulement primaire de la bobine d'induction 27. Lors de la rupture suivante du circuit, une décharge a lieu dans l'oscillateur, qui est intercalé dans le circuit secondaire de la bobine. Une impulsion d'ondes rayonne alors de l'antenne, tandis que le nombre d'impulsions est déterminé par le nombre des contacts 22; les intervalles entre ces impulsions sont proportionnels aux distances angulaires des contacts et en variant ces distances on peut varier ces intervalles à volonté.

La figure 60 représente le schéma de la station réceptrice. Les ondes, en frappant l'antenne, actionnent le cohéreur 29 et le relais 30 est excité ; le résultat sera que le relais 31 du frappeur et l'électro-aimant 32 du collecteur fonctionneront.

Ce collecteur (fig. 60) est construit de la même manière que le distributeur et, à l'arrivée de chaque onde, un des ressorts d'acier est poussé dans la rainure de l'anneau 33. Les disques du distributeur et du collecteur marchent synchroniquement et ainsi, quand par une rotation du distributeur cinq impulsions d'ondes sont rayonnées, le collecteur poussera au même instant cinq ressorts dans la rainure de l'anneau. Comme les intervalles entre

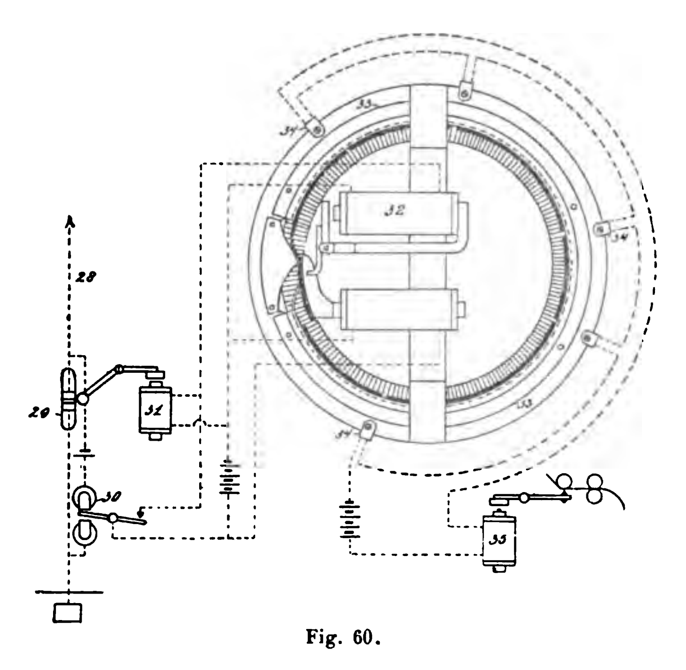


Fig. 60.

ces impulsions sont proportionnels aux distances entre elles des contacts 22 du distributeur, les ressorts du collecteur seront poussés dans la rainure à des distances analogues. Sur la périphérie du collecteur on a placé les contacts 34 en même nombre et à la même distance que dans le distributeur, de façon que les cinq ressorts, qui se meuvent en avant dans la rainure de la boucle, fermeront ces contacts au même instant. La connexion de ces contacts est telle que le courant d'une batterie ne peut passer que par un appareil Morse, quand la fermeture a lieu simultanément. Les cinq impulsions d'ondes ne causent alors qu'une seule impulsion de courant, qui passe par l'appareil Morse et qui enregistrera un point. Une succession de séries d'impulsions d'ondes, pour la

transmission d'un trait, est alors enregistrée comme une rangée de points, les uns placés tout près des autres.

Des séries de toute autre forme que celles sur lesquelles le collecteur a été syntonisé, ne pourront jamais occasionner une fermeture simultanée des contacts 34 et par conséquent ne pourront pas faire fonctionner l'appareil Morse.

Le système Bull fut, entre autres, mis à l'épreuve entre Chelmsford et Trinton, une distance de 55 kilomètres et donna d'excellents résulats. Par le réglage du disque du collecteur, on enregistra de véritables traits au lieu de points, pressés les uns près des autres. Le temps pendant lequel un courant traversait l'appareil Morse augmenta par là, de façon que la vitesse du disque distributeur en regard du disque collecteur puisse changer dans des limites assez larges, et que pourtant les signaux arrivaient encore très bien. Ainsi, dans une expérience, le distributeur fit 56,5 rotations et le collecteur 60, et les signaux étaient encore très lisibles.

CHAPITRE VI

ONDES NON AMORTIES

Simon et Reich, Duddell. — Avec les dispositifs mentionnés ci-dessus, on ne pourra jamais réaliser une syntonisation bien nette, parce que les ondes émises de l'antenne sont amorties, amortissement qu'il faut attribuer à la manière dont les oscillations sont produites : aux décharges par étincelles. Comprenant de quelle importance pratique seraient des ondes non amorties dans la télégraphie sans fil, MM. Simon et Reich ont cherché à en obtenir en se fondant sur un phénomène découvert par le physicien anglais Duddell et connu sous le nom d'arc chantant de Duddell[1]. Un tel arc se produit lorsqu'un circuit dans lequel C et L se trouvent dans un certain rapport est relié en dérivation avec une lampe à arc alimentée par un courant continu. En même temps il se produira dans le circuit CL un courant alternatif dont le nombre de vibrations correspond à la hauteur du son. Si M. Duddell n'a pas pu dépasser une fréquence de 25 000 par seconde — nombre relativement petit quand on le considère au point de vue de la technique de la télégraphie sans fil — MM. Simon et Reich[2] plus heureux ont su porter ce nombre à 10^6, grâce à l'action interruptrice de la lampe à vapeur de mercure « Cooper Hewitt » ; il est vrai qu'ils n'ont pu maintenir cette haute fréquence que de courts instants. D'autres savants encore ont cherché à résoudre la question en se servant de l'arc voltaïque. Nom-

[1] On en trouvera un exposé théorique dans un article de M. Simon dans la *Elektrotechn. Zeitschr.* 1907, S. 295, article qui contient en même temps beaucoup de renvois.

[2] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1901, S. 510.

mons par exemple M. Elihu Thomson[1] qui attira l'attention du public sur un brevet qu'il avait déjà demandé en 1892 pour des oscillations électriques de haute fréquence produites de cette manière ; et ensuite le professeur hollandais M. Wertheim Salomonson[2] qui déclare avoir réussi à réaliser des fréquences de 400 000 par seconde.

Ruhmer. — A l'exposition de l' « Elektrotechnische Verein » tenue à Berlin en novembre 1904, l'interrupteur à arc voltaïque de M. Ruhmer excita particulièrement l'intérêt. La différence de cet arrangement d'avec celui de M. Duddell, c'est que M. Ruhmer faisait usage d'un extincteur électromagnétique d'étincelles. Outre que cet appareil servait d'interrupteur aux bobines d'induction, on le montrait aussi en activité comme pouvant fournir des courants de haute fréquence. Le réglage des oscillations propres du circuit dans lequel C et L se trouvaient introduits, permettait de porter le nombre des interruptions à 400 000 par seconde.

Poulsen. — M. Poulsen[3] de Copenhague, l'inventeur du télégraphone, publia alors une nouvelle méthode qui fit grande sensation. Il réussit à provoquer des oscillations non amorties de haute fréquence, et il sut en même temps augmenter l'énergie du circuit oscillatoire ; la méthode fut ainsi rendue applicable à la télégraphie sans fil. L'originalité de la méthode de M. Poulsen consiste en ce qu'il introduisit l'arc *a* (fig. 61) dans une atmosphère d'hydrogène ; il obtint par là des oscillations non-amorties de fréquence 10^6 et plus par seconde. Il se servit en outre d'un champ magnétique M à l'action duquel l'arc était assujetti. Il obtint un accroissement de l'énergie radiée en intercalant quelques arcs en série et en mettant plusieurs de ces séries en dérivation. Dans la pratique, il sera nécessaire de faire usage d'un mécanisme qui permettra de régler plusieurs arcs en même temps, sans qu'on soit obligé de le faire pour chacun en particulier.

[1] *The Electrician*, Dec. 21, 1906, p. 379.
[2] *Verslag Koninklyke Academie van Wetenschappen* 1902-1903, p. 381.
[3] *Elektrotechn. Zeitschr.* 1906, S. 1040.

Si les valeurs de C, L et R du circuit fermé *a*CL*ba* sont telles qu'on ait :

$$\frac{R}{2L} < \frac{1}{\sqrt{CL}},$$

la charge du condensateur aura lieu d'après une oscillation amortie. Comme la grande self-induction L_1 intercepte alors le chemin de la source d'énergie, les courants du condensateur pas-

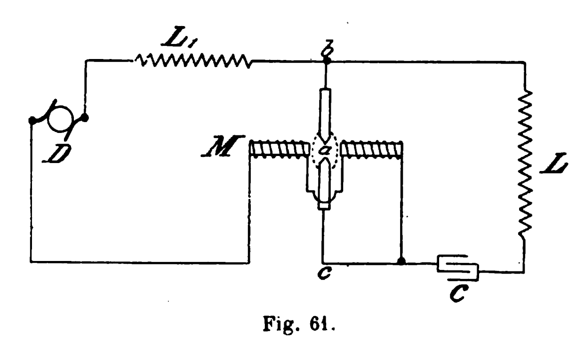


Fig. 61.

seront par l'arc dont ils feront croître et décroître alternativement la différence de potentiel et par le fait aussi la tension de charge du condensateur. Ces variations de la tension renforcent les oscillations du circuit-condensateur. Cependant avec des oscillations très rapides la tension de l'arc ne pourra pas suivre aussi vite les variations du courant parce que la chaleur du « pont de vapeur » — qui est entouré de mauvais conducteurs de chaleur — ne pourra pas subir des variations aussi rapides. De cette manière il ne pourra pas se produire d'impulsions, mais leur production est favorisée par l'atmosphère d'hydrogène qui rendra possible un rapide refroidissement et qui empêchera en même temps l'oxygène d'arriver à l'arc. Pour réaliser tout cela on n'aura besoin de recourir ni au champ magnétique ni aux électrodes de cuivre. Avec l'usage d'un champ magnétique on aura cet avantage que la tension de l'arc peut être augmentée et ainsi une plus grande quantité d'énergie sera disponible ; en même temps, sous l'influence du champ magnétique, l'arc se formera au bord des électrodes, ce qui favorisera le refroidissement.

Cette explication donnée par M. Reithoffer[1] se distingue par sa

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1907, S. 308.

simplicité. Une explication plus scientifique est celle que M. Simon [1] a déduite de sa théorie de l'arc chantant. Il montre qu'avec un arc ordinaire, il est impossible de produire des oscillations au-dessus d'une certaine fréquence ; qu'une grande longueur d'arc, une faible intensité du courant, par conséquent une haute tension, et surtout l'intercalement en série de plusieurs arcs ont une influence favorable sur la production d'oscillations de haute fréquence ; que celles-ci ne s'obtiennent pas avec des crayons à mèche, et que leur production est favorisée par un refroidissement intense des électrodes.

D'après M. Poulsen encore il faut probablement attribuer l'action favorable d'une atmosphère d'hydrogène à la grande conductibilité calorifique de ce gaz. La rapidité d'ionisation de l'hydrogène doit aussi avoir son influence. Si la première hypothèse est juste, d'autres moyens exerçant une action refroidissante de l'arc permettront d'obtenir le même résultat. Et en effet M. Poulsen trouva qu'on y arrivait en se servant d'une anode en cuivre et d'une cathode en charbon, et en refroidissant l'électrode de cuivre avec de l'eau. On favorisera le refroidissement en provoquant l'arc toujours à une nouvelle place refroidie des électrodes, ce qui s'obtient en imprimant à ces dernières un mouvement de rotation.

M. Austin [2] trouva qu'en remplaçant l'atmosphère d'hydrogène par la vapeur, les phénomènes restaient tous les mêmes. Pour plus de détails nous renvoyons le lecteur à l'article indiqué dans lequel se trouvent rapportées un grand nombre de ses expériences.

M. Poulsen s'associa avec l'ingénieur danois Pedersen afin d'appliquer ses découvertes à la télégraphie sans fil. La figure ci-dessous donne une idée de la manière dont les oscillations produites sont transmises à une antenne. On fait usage d'un accouplement galvanique ; toutefois on peut aussi employer un accouplement inductif plus ou moins fort. Le premier accouplement permet d'atteindre une grande distance de communication dans la télégraphie par étincelles, mais avec une netteté de syntonisation limitée; cet inconvénient toutefois ne se fait pas sentir ici. A l'aide du

[1] *Eléktrotechn. Zeitschr.*, 1907 S. 314.

[2] *The Electrician*, Aug. 2, 1907, p. 634.

pont *d* on peut accorder le circuit *b*LC*c* sur la période choisie, et le pont *e* permet de syntoniser l'antenne.

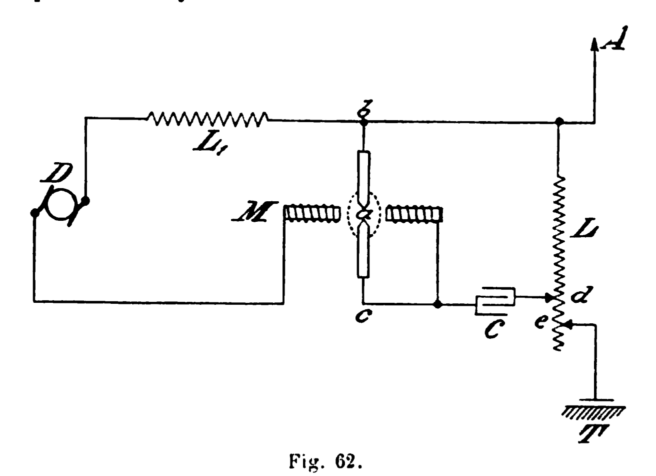


Fig. 62.

Voici maintenant comment les signaux sont transmis. Un manipulateur permet de relier l'antenne et sa prise de terre ou son

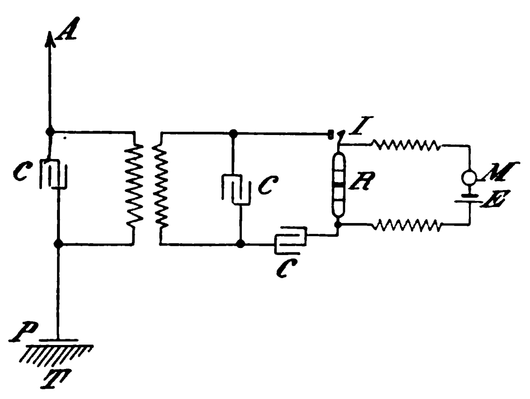


Fig. 63.

contrepoids avec le reste du circuit et de l'en isoler alternativement; les oscillations engendrées traversent alors continuellement le circuit. Au moment où l'antenne est détachée, on recommande d'intercaler comme compensation un circuit de faible rayonnement et dont la fréquence et l'amortissement seront les mêmes que ceux de l'antenne. Il y a encore d'autres manières de transmettre les signaux, par exemple : en allumant ou en éteignant l'arc électrique

pour chaque signal ; en faisant varier la longueur de l'arc, de façon qu'il engendre alternativement des oscillations et qu'il n'en produise pas ; en modifiant l'intensité du champ magnétique, etc.

Ci-dessus se trouve reproduit un dispositif récepteur dans lequel on s'est servi d'un accouplement faible. Comme il est très important que le dispositif récepteur présente un circuit oscillatoire avec le plus faible amortissement possible, l'accouplement lâche est tout indiqué. Pour la même raison on y donne la préférence à un contrepoids (p. 65) sur une prise de terre. Comme les ondes émises sont continues, le dispositif récepteur pourra être arrangé de façon que le récepteur R soit intercalé dans le circuit par intermittence ; on évitera ainsi l'amortissement qui serait causé par l'intercalement continu du récepteur. C'est pourquoi M. Poulsen met le circuit récepteur en vibration, sans récepteur ; et il intercale celui-ci subitement. De cette manière l'énergie emmagasinée pendant ce court espace de temps pourra produire son action utile dans le circuit où sont introduits l'enregistreur M et la pile E. Après quoi le récepteur est de nouveau mis hors du circuit, et les mêmes opérations recommencent. Ces fermetures et ces ruptures alternatives — qui peuvent avoir lieu très rapidement — s'obtiennent au moyen d'un contact intermittent I, par exemple avec une roue dentée tournante et dont les dents sont successivement touchées par un ressort ; ou bien avec un interrupteur électromagnétique.

M. Poulsen indique encore d'autres arrangements dans lesquels le récepteur est remplacé ou par un dispositif bolométrique, ou par une pile thermo-électrique, ou par un détecteur électrolytique. Les signaux sont alors reçus au son. D'après lui la netteté de syntonisation du nouveau système serait de 1 p. 100, c'est-à-dire si deux stations échangent des messages avec une longueur d'onde de 600 mètres par exemple, il sera possible à deux autres stations du même district de correspondre avec une longueur d'onde de 606 mètres, sans qu'il y ait perturbation réciproque. M. Poulsen fit une expérience dans laquelle il réussit à recevoir 3 télégrammes à la fois avec 3 récepteurs reliés à la même antenne ; la différence de longueur d'onde comportait 3 ou 4 p. 100. Comme on peut produire avec le système Poulsen des longueurs d'ondes variant de 300 à 3 000 mètres, le nombre des stations du même

district qui peuvent travailler en même temps est très grand. Une condition exigée toutefois est que les longueurs d'ondes soient maintenues constantes, ou du moins restreintes entre des limites très resserrées. Il appartient à l'avenir de nous apprendre dans quelle mesure on peut atteindre ce résultat.

M. Poulsen réussit avec sa méthode à établir une bonne communication entre sa station d'essais, située à Lyngby dans les environs de Copenhague, et une station installée à Newcastle-on-Tyne, distantes de 900 kilomètres. L'antenne de la première station avait 30 mètres de haut et la puissance employée n'était que de 2 chevaux.

Gesellschaft für drahtlose Telegraphie. — La Gesellschaft für drahtlose Telegraphie réussit également à appliquer dans sa station de Nauen (p. 179) une méthode pratique pour produire des oscillations non amorties. On ne se servit ici ni d'atmosphère d'hydrogène, ni d'extincteur électromagnétique. Plusieurs arcs électriques furent montés en série et quelques-unes de ces séries mises parallèlement ; l'anode était une électrode de cuivre creuse, remplie d'eau pour provoquer le refroidissement ; la cathode était une électrode de charbon.

Marconi. — D'après une communication de M. Fleming, conseiller technique de la Société Marconi, M. Marconi aurait découvert une méthode mécanique pour provoquer des ondes non amorties. De l'avis de M. Fleming cette méthode, qui doit être très simple, aurait de grands avantages sur l'emploi de l'arc électrique, surtout dans le cas de grandes quantités d'énergie. On n'a d'ailleurs publié encore aucune particularité au sujet de ce dispositif.

Téléphonie sans fil. — Quoique l'invention de M. Poulsen ait permis de réaliser une plus grande netteté de syntonisation et par là une plus grande sûreté des communications, le maintien du secret n'est pourtant pas encore assuré par cette méthode ; car il sera toujours possible de syntoniser un récepteur sur les ondes émises. Eu égard à la faible régularité de fonctionnement des dis-

positifs dans lesquels les oscillations sont produites au moyen d'un arc électrique, à la difficulté de maintenir constante la longueur de ces oscillations et aux inconvénients qui résultent de l'application pratique d'une grande quantité d'énergie électrique, il reste à savoir — vu la manière dont sont actuellement produites les oscillations électriques non amorties — si la télégraphie par étincelles disparaîtra jamais. Cependant le grand intérêt de la méthode de M. Poulsen, à notre avis, consiste en ce qu'elle a fait faire un important progrès à la téléphonie sans fil. Il l'a bien compris lui-même : il a fixé son attention sur cette question et il a fait, quoique sur de faibles distances, quelques expériences heureuses.

Ruhmer. — En modifiant des oscillations électriques non amorties, conformément aux mots prononcés, les ondes émises pourront faire fonctionner la membrane d'un téléphone dans la station réceptrice et rendre ainsi les mots prononcés. Cette modification peut être obtenue en faisant varier l'amplitude des oscillations sans changer la fréquence, ou en faisant varier l'oscillation propre soit du circuit oscillateur fermé, soit du circuit oscillateur ouvert. De cette manière la syntonisation des systèmes accouplés variera, alors que l'amplitude restera constante. Des deux manières des ondes sont rayonnées qui correspondent aux mots prononcés. Dans la station réceptrice on fera alors usage d'un récepteur d'ondes monté en série avec un téléphone et une pile. Si la fréquence des oscillations est constante et leur amplitude variable, ces variations feront fonctionner un récepteur qui y sera sensible, tandis qu'avec une fréquence variable et une amplitude constante, un nombre différent d'ondes agiront sur le récepteur dans des temps égaux, différence dont dépendra l'action de l'appareil récepteur.

M. Ruhmer [1] qui appliqua le premier les oscillations électriques non amorties à la téléphonie sans fil, se servit dans le dispositif transmetteur de la méthode de M. Poulsen en introduisant une lampe à arc *a* dans une atmosphère d'hydrogène (fig. 64). Dans

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1906, S. 1060.

le circuit où se produisent les oscillations de haute fréquence, C représente un condensateur, L une self-induction réglable pour les besoins de la syntonisation et p l'enroulement primaire d'un

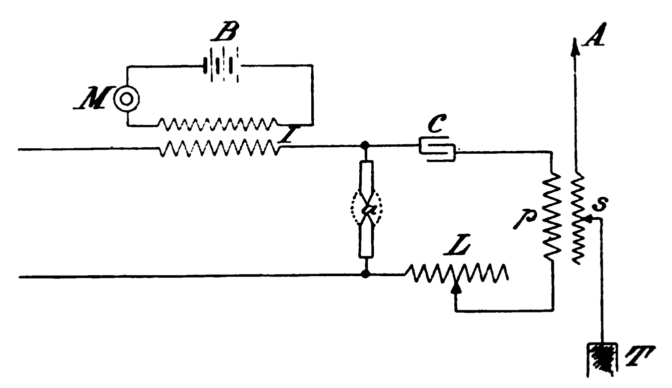


Fig. 64.

transformateur ; l'enroulement secondaire s dont la self-induction peut être modifiée est accouplé avec l'antenne A. Conduit par l'expérience que l'intensité du courant dans l'arc exerçait une influence sur l'intensité des oscillations produites, M. Ruhmer eut l'idée d'appliquer le dispositif de l'arc chantant. I est une bobine d'induction, dans l'enroulement primaire de laquelle on a introduit un microphone M et une batterie B. M. Ruhmer ne dit pas si, en parlant dans le microphone, l'amplitude des oscillations varie, tandis que la fréquence reste constante, ou réciproquement ; d'après lui les deux phénomènes se produisent probablement en même temps.

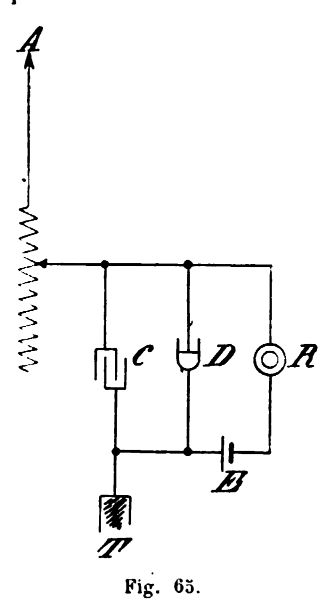


Fig. 65.

Dans le dispositif récepteur représenté par la figure 65, A est l'antenne, D un détecteur électrolytique, E une pile et R un téléphone avec lequel le message est reçu.

Quoique les expériences de M. Ruhmer se réduisissent à des

distances de laboratoire, il serait possible, d'après lui, de transmettre le mot prononcé à plusieurs kilomètres.

La *G. f. d. T.* réussit déjà à échanger des messages radio-téléphoniques entre sa station à Nauen et ses bureaux à Berlin, distants d'environ 40 kilomètres[1].

De Forest. — Lors des concours tenus sur le lac Érié en juillet 1907, M. De Forest[2] avait pourvu l'un des yachts, ainsi qu'une station côtière, d'un dispositif de téléphonie sans fil. On pouvait ainsi téléphoner à la station côtière le résultat des concours; et sur des distances de 4 milles la parole était si nettement transmise qu'il était possible de distinguer la voix même de la personne qui parlait. Le dispositif transmetteur comprenait une dynamo de 1 kilowatt d'une tension de 220 volts, qui à l'aide d'un oscillateur — dont on n'a pas donné de description — provoquait des ondes de haute fréquence dans un circuit C L monté en dérivation avec cet oscillateur. La self-induction de ce circuit pouvait être modifiée pour la syntonisation des ondes rayonnées. Avec ce circuit fermé était accouplé inductivement un circuit ouvert, formé par l'antenne, par la self-induction et par la prise de terre. A l'extrémité inférieure de cette self-induction était intercalé un microphone ordinaire. Dans le circuit récepteur on avait introduit un téléphone et, comme récepteur d'ondes on avait appliqué l'audion (p. 90) de M. De Forest.

Fessenden. — Mentionnons encore en passant les recherches faites par M. Fessenden dans le but de trouver une solution pratique de la question de la téléphonie sans fil. M. Fessenden semble attendre plus de succès de l'application de dynamos à courant alternatif, qui fournissent une haute fréquence. C'est ainsi par exemple qu'il fit une série d'expériences à l'aide d'une dynamo à 40000 périodes par seconde, entre une station à Brant Rock et un bateau à vapeur qui se trouvait à 16 kilomètres de distance. Dans la station transmettrice, où se trouvait la dynamo, on avait inséré un microphone à l'extrémité de l'antenne qui était mise à

[1] *The Electrician,* Dec. 21, 1906, p. 357.
[2] *Ibid.*, Aug. 23, 1907, p. 750

la terre. Les oscillations de courant produites par la parole dans le microphone se superposaient aux oscillations induites du circuit de la dynamo. La consommation d'énergie dans ces expériences ne comportait que 50 watts. Dans la station réceptrice, on avait intercalé dans l'antenne l'enroulement primaire d'un transformateur ; tandis que l'enroulement secondaire était relié à un condensateur, à un téléphone et à une résistance traversée par un courant d'une intensité constante. D'après M. Fessenden un pareil dispositif pourra servir pour des distances jusqu'à 250 kilomètres.

M. Fessenden[1] obtint aussi plus ou moins de succès dans des expériences qu'il fit avec d'autres méthodes. A raison du grand nombre de moyens qu'il proposa pour résoudre la question, nous sommes obligés de nous borner à renvoyer aux articles qu'il a publiés à cet égard.

[1] *Electrical Review*, Febr. 15, 1907, p. 251 ; Febr. 22, 1907, p. 327 et March. 1, 1907, p. 368.

CHAPITRE VII

APPAREILS POUR MESURER LA LONGUEUR D'ONDE DES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

Pour syntoniser la station réceptrice aussi exactement que possible sur les ondes transmises, il est d'une grande commodité d'avoir à sa disposition un instrument pour mesurer la longueur d'onde, appareil nommé « ondomètre ».

Le calcul de cette longueur ne donne pas des résultats suffisamment exacts, car la capacité des condensateurs — si l'air n'est pas employé comme diélectrique — dépend de la fréquence et en calculant la self-induction pour les courants de haute fréquence, on aura des difficultés[1]. La mesure de la capacité et de la self-induction est assez difficile et prend beaucoup de temps. C'est pourquoi on sentit le besoin d'un instrument portatif, avec lequel cette mesure peut se faire vite et exactement, et c'est à ces exigences que répondent les ondomètres de Slaby, de Dönitz, de Fleming, de Drude et de Ives-De Forest. Ils reposent tous sur le même principe, c'est-à-dire : établir la résonance entre le circuit à mesurer et l'instrument. La production de la résonance dans ces appareils est constatée de différentes manières et c'est là que se trouve la différence essentielle des divers ondomètres.

Ondomètre de Slaby. — Cet instrument est basé sur la découverte de la bobine multiplicatrice, que MM. Slaby-Arco appliquent dans leur système et dont le principe fut trouvé de la manière suivante : avec la bobine d'induction, représentée dans la figure 66,

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1904, S. 777.

on engendre des ondes dans les deux fils rectilignes ; leur longueur d'onde était de 4 mètres, car chaque fil avait une longueur de 1 mètre. Ces ondes furent reçues sur un fil, recourbé à angle droit, dont la longueur totale était de 4 mètres. Examiné au moyen du micromètre à étincelles, on trouva que la courbe de tension de ABC et de AED était la même ; en B et en E il se produisait des nœuds de tension et en A, C et D des ventres de tension. Les tensions en C et D étaient égales et dans la même phase, ce qui apparut par l'intercalement du micromètre à étincelles entre C et D, lequel n'indique pas de différence de potentiel. Pour arriver à une différence de phase à cette place de 180°, M. Slaby relia à l'extrémité du fil D un fil DF de 2 mètres de longueur, de façon qu'il pouvait s'y produire une demi-onde, et la tension entre CF était alors deux fois plus grande que celle qui avait été mesurée auparavant en C ou en D. Quand M. Slaby enroula le fil D F en forme de bobine, il apparut que la différence de potentiel était beaucoup augmentée, de là le nom de bobine multiplicatrice, donné par lui à cette bobine. Il trouva encore que la tension était maximum quand la longueur du fil enroulé était un peu inférieure à deux mètres.

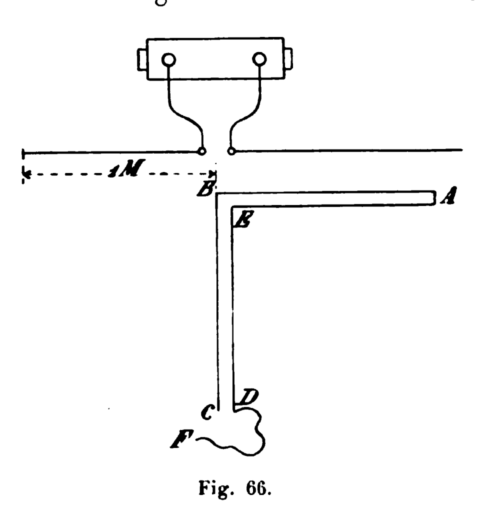


Fig. 66.

Le même phénomène d'augmentation de potentiel avait été remarqué avant M. Slaby, par M. Oudin et aussi par M. Tesla ; mais ce fut M. le comte Arco qui proposa le principe de la bobine multiplicatrice pour la mesure des longueurs d'ondes. On trouvera une explication mathématique du fonctionnement de la bobine multiplicatrice dans un article de M. Seibt, dans l'*Elektrotechn. Zeitschr.* 1901, page 580.

L'ondomètre de M. Slaby, nommé par lui barre multiplicatrice, est basé sur le principe, indiqué ci-dessus, de la bobine multipli-

catrice. Il faut que la tension superficielle du fil soit portée à un tel point, que le rayonnement soit visible à l'éclat lumineux du fil; en variant le C et le L du fil, de façon à porter ce rayonnement à son maximum, la résonance s'obtiendra entre les oscillations propres du fil et celles du circuit à mesurer, ce qui veut dire que les longueurs d'ondes sont égales. Une grande tension superficielle, comme on l'a déjà montré avec la bobine multiplicatrice, peut être réalisée au moyen d'un fil enroulé en forme de bobine; la self-induction sera alors grande et la capacité petite : conditions, qui doivent être remplies si la tension superficielle obtient une grande valeur[1]. M. Slaby obtint un effet maximum en enroulant autour d'une barre de verre un mince fil de cuivre (0,1 mm.) revêtu de soie. En faisant naître les ondes électriques dans cette bobine, il faut faire attention que la barre se trouve à une telle distance du circuit qui doit être mesuré, qu'elle ne puisse pas réagir sur ce dernier; la proximité d'un conducteur en communication avec la terre pourrait faire varier la capacité du fil aérien, et par suite aussi la longueur d'onde à mesurer. Le rayonnement dans ces circonstances sera très faible et par la couleur bleu-violette il sera difficile à constater en plein jour. En soumettant des substances fluorescentes, par exemple du platinocyanure de baryum à l'action rayonnante l'éclat peut être augmenté considérablement. C'est pourquoi M. Slaby apporte de petits morceaux de cristaux de ce sel sous la pointe de la barre, et alors il se produit un point vert-clair intense, qui est même visible dans la lumière solaire.

Les barres sont étalonnées dans l'espace libre à l'aide de longs fils, qui sont tendus horizontalement à $\pm$ 2 mètres du sol et qui sont excités par une petite coupure, où peut jaillir une étincelle. Le réglage de la barre multiplicatrice se fait alors dans l'obscurité et la barre est retenue à une distance telle de l'extrémité du fil, que la capacité ne se modifie pas. En ceci, M. Slaby supposa que la longueur totale du fil tendu en ligne droite était égale à la moitié de la longueur d'onde. Plus tard il fit remarquer que cela n'était pas tout à fait exact; car la proximité d'autres conducteurs ou isolateurs, parmi lesquels il faut compter la terre et le corps

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1903, S. 1009.

de l'opérateur, donne à ce fil une demi-longueur d'onde qui peut être supérieure, comme l'a montré Drude[1], entre autres, à la longueur du fil. Pour prévenir de telles influences contrariantes, il convient de donner la préférence à l'étalonnement à l'aide des fils de Lecher (p. 15).

La mesure se fait comme elle est indiquée sur la figure 67. Une courte barre *a* d'un diamètre de 2 millimètres, mise à la terre au moyen d'un fil, peut se mouvoir avec la main droite le long de la

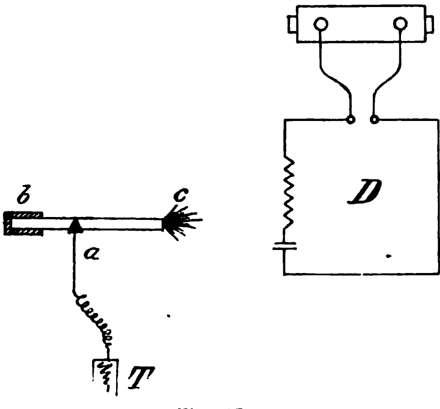


Fig. 67.

barre, tandis qu'avec la main gauche l'extrémité de la barre, qui est recouverte d'une capsule métallique *b* est retenue avec la main et par conséquent aussi mise à la terre. Remarque-t-on au déplacement de la barre *a* que le rayonnement en C est devenu maximum, cela indique qu'il y a résonance entre les oscillations propres de la barre et celles du circuit D à mesurer. La barre est tournée avec sa pointe du côté du circuit D.

Dans la pratique M. Slaby a donné trois espèces de barres, toutes pourvues d'une division en longueurs d'ondes. La longueur de la barre est de 80 centimètres et avec la première espèce on peut mesurer des ondes d'une longueur de 100-200 mètres, avec la deuxième des ondes de 200-400 mètres et avec la troisième des ondes de 400-800 mètres.

Ondomètre de Dönitz. — Pour construire un ondomètre,

[1] *Ann. der Phys. Bd.*, 11, 1903, S. 965.

M. Dönitz partit de ce principe que l'exactitude des mesures était la plus grande, quand on avait une capacité et une self-induction réglable dans un circuit fermé, car l'amortissement dans un tel circuit est faible. On fait varier C et L jusqu'à ce que la période des ondes à mesurer soit égale à celle du circuit résonateur, de façon que la résonance soit ainsi réalisée. On peut constater cela quand la tension est arrivée au maximum, mais l'intensité du courant pourra aussi bien servir.

La figure 68 nous donne une représentation schématique de

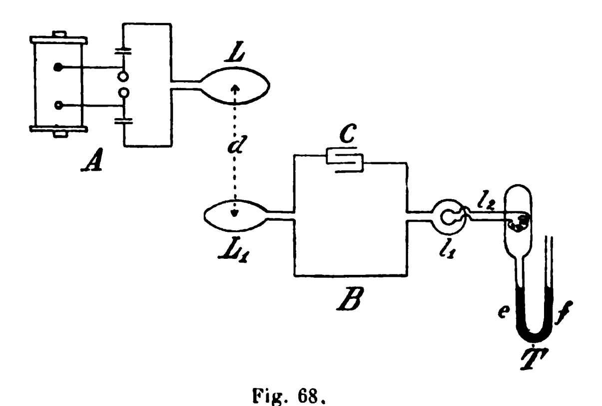


Fig. 68.

l'ondomètre de M. Dönitz. A est le circuit dont la longueur d'onde peut être mesurée au moyen de l'instrument B, L_1 sont des spires de self-induction, C un condensateur d'une capacité réglable et T un thermomètre à air, avec lequel on peut calculer l'intensité du courant. La valeur absolue de cette intensité dans le circuit B est surtout dépendante de la distance *d* des bobines L et L_1. Plus cette distance sera petite, c'est-à-dire plus l'accouplement sera fixe, plus l'intensité du courant sera grande, mais il y a une distance critique, qu'il ne faut pas dépasser, car alors le courant devient beaucoup plus petit par suite de l'induction mutuelle, ce qui est nuisible à l'exactitude des mesures.

Dans l'ondomètre, dont se sert la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie », nous avons trois bobines L_1 construites de manière que leur self-induction soit dans le rapport des nombres : 1/4, 1 et 4. Avec ces bobines on obtiendra un accord approximatif des périodes. Le condensateur C est un condensateur à lames, qui

sont enfermées dans un récipient, rempli d'huile de paraffine. Il consiste en une rangée de lames demi-circulaires, placées à distances égales l'une de l'autre et reliées à une des électrodes. Entre ces lames on a disposé une autre rangée de lames, reliées à l'autre électrode et qui au moyen d'un bouton extérieur peuvent être déplacées par rapport aux premières, de façon que la capacité peut être réglée.

L'intensité du courant est indiquée par le thermomètre à air T au moyen d'un courant induit. Comme l'on peut mesurer avec cet instrument des longueurs d'ondes de 140-1120 mètres, il peut arriver qu'on intercalera dans l'appareil dans un cas un grand C et un petit L_1 et dans l'autre cas un petit C et un grand L_1. Supposons que dans les deux cas la quantité d'énergie dans l'instrument soit égale, alors un courant beaucoup plus grand circulerait dans le thermomètre dans le premier cas que dans le second. Pour prévenir une trop grande différence entre les indications du thermomètre, celui-ci est actionné inductivement et le dispositif fait de façon que la distance entre l'enroulement primaire l_1 et le secondaire l_2 pourra être modifiée.

La mesure des longueurs d'ondes a lieu avec cet instrument en établissant approximativement l'accord des périodes à l'aide d'une des bobines L_1 et en modifiant C, on peut obtenir la syntonisation exacte, ce qui est marqué par le thermomètre à air, qui indiquera alors un maximum de courant. La différence de hauteur du liquide dans les tubes communiquants *e* et *f* est une mesure pour l'intensité du courant. La partie supérieure du condensateur est munie d'une échelle avec trois graduations correspondant chacune à l'une des trois bobines L_1. Au bouton, par lequel la capacité du condensateur peut être modifiée, on a apporté un index qui se meut sur l'échelle où l'on peut lire la longueur des ondes en mètres.

Avec cet ondomètre on peut encore constater si dans un circuit à mesurer se trouvent en même temps des ondes de différentes longueurs en examinant si par la variation continuelle de la capacité il se produit plusieurs maxima de courant. D'après le rapport des valeurs lues sur le thermomètre on trouvera le rapport entre les amplitudes des différentes ondes.

En déplaçant, à la production de la résonance, l'index du con-

densateur à droite ou à gauche et en remarquant si l'indication du thermomètre varie peu ou beaucoup, on peut constater, si l'onde a un tracé plus ou moins aigu. L'étalonnement de l'ondomètre ne se fit pas directement, mais la longueur d'onde fut calculée, pour différentes positions des lames du condensateur et par l'intercalement d'une des bobines L_1, de la formule $\lambda = 2\pi\sqrt{CL}$. La capacité C était alors régulièrement mesurée, tandis que la self-induction L était calculée sur les dimensions de la bobine d'après la formule de Stephan, qui selon M. Dönitz, dans les courants de haute fréquence est suffisamment exacte.

Ondomètre de Fleming. — M. Fleming a construit deux sortes d'ondomètres appelés par lui « kummètres ». La première sorte, à circuit ouvert[1], est en principe pareille à celui de M. Slaby.

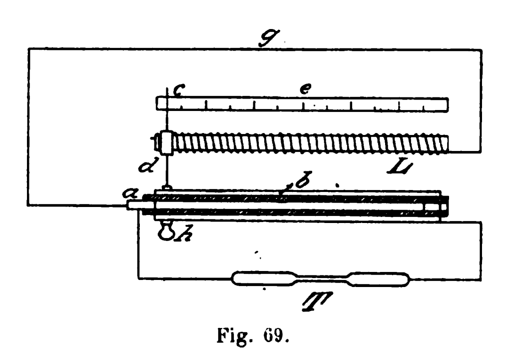


Fig. 69.

Les autres au contraire où l'on applique un circuit fermé, se distinguent en ce que le simple déplacement d'un bouton permet de modifier simultanément la capacité et la self-induction.

Dans la figure 69, qui donne une représentation schématique de cette dernière sorte de kummètres, le condensateur se compose de deux tubes de laiton *a* et *b*, emboîtés l'un dans l'autre et séparés par un tube d'ébonite. A l'aide du bouton *h*, on peut faire glisser le tube extérieur *b* sur le tube intérieur *a*; un index *c* se déplacera en même temps sur l'échelle *e*. Une bobine de self-induction L, composée d'un fil de cuivre nu enroulé sur un tube d'ébonite, est montée en dérivation avec le condensateur au moyen

[1] *The Electrician,* Febr. 23, 1906, p. 762.

d'une tige de cuivre *g*. Par le déplacement de *b* sur *a*, qui entraîne aussi celui du pont *d*, on intercalera en même temps plus ou moins de self-induction. L'instrument comprend de plus un tube vide d'air T, disposé entre les armatures intérieure et extérieure du condensateur et rempli d'un gaz rare « néon » qui donne, sous l'influence des ondes électriques, une lumière assez forte pour que l'éclat du tube soit même visible le jour.

Pour mesurer la longueur d'onde d'un circuit, on apporte le kummètre près de ce circuit et on le place de manière que la tige *g* soit parallèle à une partie rectiligne de ce circuit. Alors on fait glisser le tube *b* sur *a* jusqu'à ce que le tube T donne le maximum de lumière; la résonance entre le circuit du kummètre et le circuit à mesurer sera établie par le fait. L'index *c* indiquera en mètres, sur l'une des graduations de l'échelle — car celle-ci porte plusieurs divisions destinées à d'autres mesures — la longueur d'onde à mesurer.

Avec les plus petits kummètres construits par M. Fleming on peut mesurer des longueurs d'ondes de 33 à 700 mètres; avec la deuxième sorte, des longueurs jusqu'à 1400 mètres; avec la troisième, jusqu'à 2000 mètres; avec la quatrième sorte il est possible de mesurer des longueurs d'ondes jusqu'à 3000 mètres.

En se servant de cet ondomètre, comme du reste aussi des autres, il faut avoir soin de ne pas le placer trop près du circuit à mesurer, c'est-à-dire qu'il y ait accouplement lâche. Mesure-t-on par exemple la longueur d'onde dans une antenne, chaque oscillation dans l'antenne produirait, avec un accouplement trop fixe, deux oscillations dans l'ondomètre, de différentes fréquences, dont aucune ne serait la fréquence de l'antenne qu'on veut mesurer.

Ondomètre de Drude. — Drude[1] a décrit un instrument pour mesurer les longueurs d'ondes, qui a beaucoup de rapport avec celui de M. Dönitz. Il produit aussi la résonance entre le circuit dont la longueur d'onde doit être déterminée et un autre circuit, dans lequel sont intercalés C et L qui sont réglables. Le condensateur dont il se sert consiste en lames avec un diélectrique d'air

[1] *Ann. der Phys. Bd.* 9, 1902. S. 611.

ou de pétrole, parce que le verre possède en général de l'hystérésis diélectrique et qu'en outre la capacité inductive spécifique du verre dépend de la fréquence. On détermina expérimentalement la capacité du condensateur. Pour la self-induction il emploie un fil de forme rectangulaire dont le L peut se calculer plus exactement que celui d'une bobine. Il se servit pour cela de la formule :

$$L = 4\,(a+b)\left\{\log_e \frac{b}{r} - 1{,}31\,\frac{b}{a} + 1{,}06\left(\frac{b}{a}\right)^2\right\},$$

dans laquelle a et b sont les côtés du rectangle et r le rayon du fil. C'est seulement lorsque b est beaucoup plus petit que a, que la formule donne des résultats assez exacts.

La longueur et par conséquent la self-induction du rectangle peuvent être modifiées en déplaçant un pont mobile; à ce pont est fixé un index qui se meut sur une échelle graduée sur laquelle la longueur des ondes peut être lue aussitôt en mètres.

Ondomètre de Ives et de De Forest. — M. Ives, de concert avec M. De Forest, a construit un ondomètre qui est employé par la « Forest Wireless Telegraph C° »; la figure 70 donne une idée

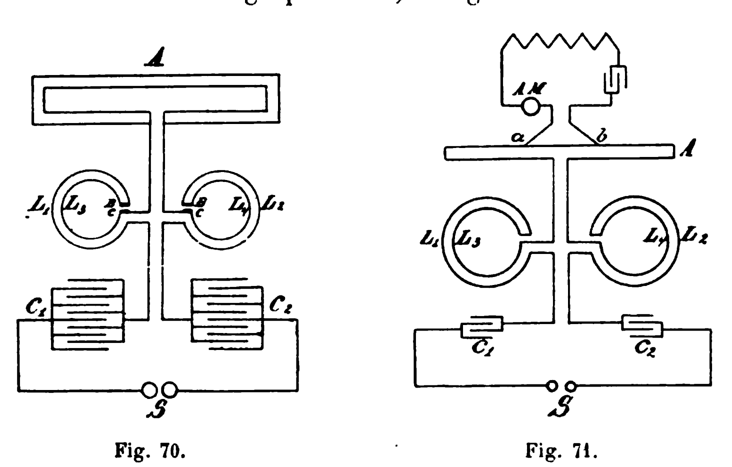


Fig. 70. Fig. 71.

schématique. Il consiste principalement en deux condensateurs réglables C_1 et C_2 et en quatre bobines de self-induction L_1, L_2, L_3, L_4. Les condensateurs sont composés de lames de verre, recouvertes de feuilles d'étain et au moyen d'un pont mobile le nombre

des lames intercalées peut être modifié et par le fait aussi la capacité. Les bobines de l'intérieur L_3 et L_4, qui sont fixées l'une à l'autre, peuvent tourner autour d'un axe horizontal, qui est situé dans le plan de la figure, de manière que l'induction mutuelle de la boucle intérieure et extérieure varie ; les boucles extérieures L_1 et L_2 ne sont pas mobiles. S est un oscillateur qui sert à produire des ondes électriques dans le système et A une forte barre de cuivre à laquelle le circuit est attaché dont la longueur d'onde doit être déterminée. La marche du courant est donc : par l'étincelle S, le condensateur C_2, la boucle L_2, à travers le contact B, par la boucle L_4, à travers le contact C, par la barre A, par les boucles L_3 et L_1, par le condensateur C_1 et de retour à S.

Avec cet instrument on peut mesurer aussi bien la longueur d'onde d'un circuit fermé que d'un circuit ouvert. Dans le premier cas on ouvre le circuit et on le rattache avec les extrémités *a* et *b* (fig. 71) à la barre A. Comme cette barre est relativement forte, la self-induction qui est intercalée dans le circuit à mesurer, peut être négligée. Dans le circuit on introduit un ampèremètre thermique AM, dans le voisinage d'un ventre de courant. La déviation de cet ampèremètre sera maximum, si l'instrument et le circuit à mesurer sont en résonance et cette résonance peut être obtenue par la modification des capacités C_1 et C_2 et par la variation de l'induction mutuelle des bobines.

Si l'on veut déterminer la longueur d'onde d'un circuit ouvert, par exemple d'une antenne, on coupera ce fil tout près de la prise de terre et on le reliera avec les points *a* et *b* de la barre A. Un ampèremètre thermique est intercalé près de la prise de terre et la manipulation a lieu tout à fait comme avec un circuit fermé.

L'ondomètre fut étalonné empiriquement au moyen de deux fils de Lecher, tendus parallèlement à une distance de 15 centimètres et à 1,2 m. au-dessus du sol. Ces fils, dont la longueur pouvait être modifiée, furent fixés aux points *a* et *b* de la barre A. En faisant jaillir une étincelle en S, au moyen d'une petite bobine d'induction, on engendra des ondes dans l'instrument de mesure, qui se propagent dans les fils. Un tube de Geissler fut placé parallèlement entre les deux extrémités libres des fils et la capacité de l'instrument fut modifiée de telle sorte que le tube commença à

s'illuminer. Après cela, on tourna les bobines de self-induction jusqu'à ce que l'éclat eût atteint un maximum d'intensité. L'instrument et les fils étaient alors en résonance et un quart de longueur des ondes dans le circuit, où l'instrument était introduit, était alors égal à la longueur des fils.

On répéta cette opération avec des fils dont on faisait varier la longueur régulièrement, et de cette manière on put obtenir la courbe d'étalonnement. Pour vérifier l'exactitude de cette courbe expérimentale on calcula la longueur d'onde pour différentes longueurs des fils. Pour cela on mesura la capacité intercalée, et avec la formule :

$$L = 4 \pi R \log_e \frac{R}{g} + 0{,}08,$$

où

R est le rayon du cercle et g le rayon du fil, tous deux en centimètres, on calcula la self-induction des bobines, qui avaient été placées de façon à rendre l'induction maximum.

Pour calculer l'induction mutuelle M_{13} et M_{24} on se servit de la formule :

$$M = 4 \pi R \left(\log_e \frac{R}{d} + 0{,}08\right),$$

où R est le rayon de la boucle intérieure et d la distance des deux boucles tous deux en centimètres. On constata que les valeurs qui avaient été trouvées expérimentalement et celles qui avaient été calculées ne différaient que très peu.

CHAPITRE VIII

ÉMISSION D'ONDES DANS UNE DIRECTION DÉTERMINÉE

Le secret des dépêches, condition principale dans la télégraphie, n'est assuré avec aucun des systèmes de radio-télégraphie. La station transmettrice, en émettant un radio-télégramme destiné à une station déterminée, envoie des ondes dans toutes les directions, de façon que chaque récepteur, dont les appareils sont syntonisés sur les ondes émises et situé dans la zone d'action de la station, peut intercepter le télégramme. C'est pour la même raison que l'effet utile de l'énergie rayonnée est minime. C'est pour cette raison qu'on chercha de bonne heure à émettre les ondes produites dans une certaine direction donnée. Quoiqu'on ait essayé d'atteindre ce résultat de plusieurs manières, on n'a pas encore trouvé une méthode pratiquement applicable. Néanmoins, dans ces derniers temps, les recherches de MM. Marconi, Braun et Fleming ont fait faire à cette question des progrès importants qui en font prévoir une solution prochaine.

Un des premiers essais à cet égard est celui de M. Zenneck, qui s'appuya sur la propriété bien connue de l'impénétrabilité d'un écran métallique aux ondes électriques. L'antenne transmet-

A B
O O
T ⟶ R

Fig. 72.

trice A (fig. 72) était dressée verticalement, et à une distance de quelques mètres se trouvait un second fil aérien B également vertical. Il conclut de ses expériences que lorsque B était mis à la

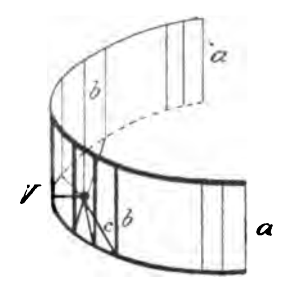
terre, le poste récepteur R ne recevait point de signaux. Si au contraire B n'était pas mis à la terre, les signaux furent reçus en R très nettement. Il réussit ainsi à transmettre un télégramme, à volonté, dans une direction déterminée, ou d'empêcher la transmission dans une direction donnée.

M. S.-G. Brown fit également usage, déjà en 1899, de 2 antennes verticales dressées à une distance d'une demi-longueur d'onde l'une de l'autre. Il lui sembla que les signaux furent nettement reçus lorsque la station réceptrice était située dans le plan des 2 antennes ; sinon, on ne perçut point de signaux.

Ce fut à peu près dans le même temps que M. von Sigsfeld fit des expériences avec une antenne verticale munie d'une partie horizontale qu'il dirigea vers la station réceptrice. Dans ce poste il se servit de 2 fils verticaux chacun d'un quart de longueur d'onde et dont les extrémités inférieures étaient reliées l'une à l'autre à l'aide d'un fil horizontal, d'une longueur égale à une demi-onde, et au milieu duquel était introduit le cohéreur. M. von Sigsfeld réussit à transmettre des télégrammes dans des directions d'un angle de 10° et en dehors de cet angle il ne recevait aucun signal.

Dispositif de Braun. — La manière dont M. Braun veut émettre des ondes dans une direction déterminée est la suivante :

Une série de baguettes métalliques *b* (fig. 73) disposées verticalement, forment les génératrices d'un cylindre dont la directrice est une parabole. Dans le foyer on place l'une des boules V de l'excitateur, laquelle au moyen des fils *c* est reliée à chaque baguette. Deux grilles paraboliques, ainsi construites, sont accouplées entre elles et l'étincelle jaillit entre les deux boules. Toutes les baguettes sont excitées à partir du même point, mais la phase d'oscillation de chacune d'elles



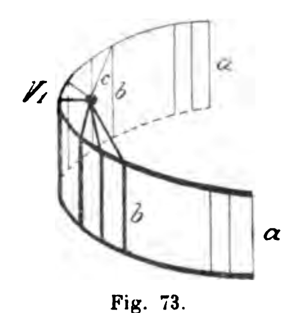


Fig. 73.

dépend de la longueur du fil de connexion. La capacité et la self-induction des baguettes et des fils de connexion ont été choisies de manière que les périodes d'oscillation de toutes les baguettes sont égales. L'action totale de l'ensemble des baguettes produit un faisceau de rayons parallèles à l'axe. La supériorité de ce dispositif sur un réflecteur parabolique c'est que l'on peut transmettre une plus grande quantité d'énergie, car la capacité de chaque baguette peut être augmentée à volonté, grâce à l'addition de condensateurs. Les baguettes métalliques *a* ne sont pas reliées aux boules de l'excitateur et servent à empêcher, autant que possible, une déviation des rayons.

Remarquons encore que M. S.-G. Brown[1], déjà cité, employa un dispositif pareil en principe à celui de M. le Pr Braun.

Dispositifs de De Forest. — Comme nous avons vu, M. von Sigsfeld se servit dans la station transmettrice d'une antenne dont une partie était tendue horizontalement. M. De Forest employa un dispositif semblable; son dispositif récepteur toutefois se composa d'un ensemble tournant de barres verticales qui lui permet de déterminer à 10° près la place d'une station transmettrice située à une distance de 6 milles.

M. De Forest fit encore une autre invention en entourant l'antenne de quelques fils verticaux; ces fils étaient situés en coupe horizontale sur une parabole et l'antenne avait été placée dans le foyer. Les extrémités inférieures des fils furent mises à la terre, au moyen de fils tendus horizontalement, dans chacun desquels avait été introduit un intervalle explosif. La longueur de ces derniers fils doit être de préférence égale à la moitié de la longueur d'onde. De plus les extrémités inférieures des fils verticaux furent reliées à l'extrémité inférieure de l'antenne. Alors les ondes, rayonnant de l'antenne transmettrice, étaient réfléchies par les fils verticaux et, selon M. De Forest, émises ainsi dans une direction déterminée.

M. De Forest fit également usage d'un dispositif basé sur l'expérience bien connue de Hertz par laquelle celui-ci montra, à l'aide

[1] *The Electrician*, June 1, 1906, p. 251.

de réflecteurs paraboliques, la réflexion des ondes électriques. M. De Forest se servit d'une série de fils aériens verticaux dont la coupe horizontale figurait une parabole au foyer de laquelle il plaça l'antenne. De cette manière, une partie des ondes rayonnées de l'antenne furent réfléchies par les fils verticaux et renvoyées dans une certaine direction. Cette expérience est en principe pareille à celle que fit en 1897 M. Marconi et dans laquelle il se servit de réflecteurs paraboliques. Mais pour obtenir un bon effet il faut que la distance focale soit égale à 1/4 de la longueur d'onde, de sorte que l'ouverture de la parabole, mesurée dans le foyer, doit être égale à la longueur d'onde. Si l'on considère maintenant que les longueurs d'ondes dont on fait usage dans la radiotélégraphie comportent souvent plusieurs centaines de mètres, on comprendra clairement que de telles méthodes ne pourront pas fournir une solution pratique de la question.

Dispositif de Artóm. — Une onde électromagnétique plane, dont les champs électrique et magnétique sont en chaque point des champs à renversement périodique, peut être nommée onde à polarisation rectiligne (p. 57). Une telle onde peut se décomposer en deux autres ondes qui sont en concordance de phases et dont les intensités du champ électrique et du champ magnétique sont perpendiculaires entre elles : en d'autres termes deux ondes polarisées dans des plans perpendiculaires l'un sur l'autre. Réciproquement, deux ondes à polarisation rectiligne et perpendiculaires entre elles, qui ont même fréquence, même direction de propagation et même phase, peuvent être composées en une onde unique à polarisation rectiligne. Cependant si les deux ondes ont une différence de phase, l'onde résultante sera en général à polarisation elliptique, et dans le cas particulier où les deux ondes ont la même amplitude avec une différence de phase de 90°, l'onde résultante sera à polarisation circulaire. La direction de propagation de cette onde sera perpendiculaire au plan de polarisation.

M. Righi démontra que l'on peut obtenir avec des ondes électromagnétiques des ondes circulaires ou elliptiques en les faisant traverser des prismes d'une matière diélectrique. M. Garbasso le

prouva en faisant usage de lames cristallines. Cependant les ondes produites de cette manière sont très affaiblies.

Le point de départ de M. Artom pour engendrer des ondes circulaires était la méthode en usage dans la technique des courants alternatifs pour produire un champ magnétique tournant. Il sut donner à cette méthode une application pratique pour la radiotélégraphie.

Dans le schéma des connexions représenté par la figure 74, M, N et P sont trois boules d'un excitateur placées dans les sommets d'un triangle rectangle isocèle. L'une des boules P est reliée à l'une des extrémités de l'enroulement secondaire d'une bobine d'induction J, tandis que l'autre extrémité de cet enroulement est reliée à la fois à N par l'intercalement d'un condensateur C et à M par l'intercalement d'une bobine de self-induction L. Par un choix judicieux des valeurs de la résistance ohmique, de la capacité et de la self-induction, on peut obtenir que les oscillations produites entre MN et NP aient la même amplitude, mais une différence de phase de 90°. L'une des oscillations, par exemple celle entre M et N, peut être considérée comme provenant d'un circuit oscillateur primaire ; l'autre, celle entre N et P, comme provenant d'un résonateur. M. Artom examina par voie empirique les qualités du champ produit par chacune des deux oscillations. Quant au champ magnétique tournant, il étudia les courants qui naissaient dans un solénoïde placé en différents points du champ. Pour observer les phénomènes du champ électrique tournant il se servit de petits ballons de verre très légers placés sur des pointes de verre très fines ; les ballons rangés à une distance de 20 à

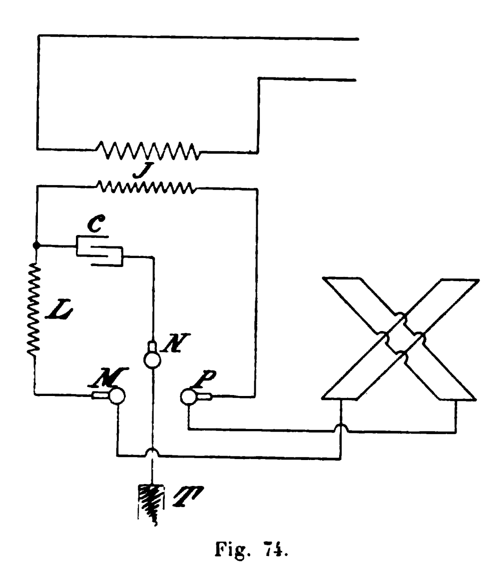


Fig. 74.

30 centimètres de l'oscillateur commençaient à tourner. Lorsqu'on modifiait les connexions de telle sorte que MN devenait le circuit de résonance à la place de NP, la rotation des ballons changeait de sens. Il parut à M. Artom que l'étincelle produisait un champ électromagnétique assez compliqué; cependant l'application d'antennes le rendit plus régulier. Ces fils aériens doivent être de même longueur pour que les ondes rayonnées soient également de même longueur; l'ordre des antennes est aussi de grande importance. Comme on voit dans la figure, M. Artom se servit de deux systèmes de fils aériens qui faisaient entre eux un angle de 90°. Il relia l'un des systèmes avec la boule M de l'excitateur et l'autre avec la boule P; la boule N était mise à la terre. Les antennes rayonnaient alors deux ondes de même longueur avec une différence de phase de 90°, c'est-à-dire de 1/4 de longueur d'onde. L'action collective des deux oscillations produit alors des ondes électromagnétiques à polarisation circulaire qui se propagent dans la direction d'une droite perpendiculaire au plan des antennes et qui passe par leur intersection.

M. Artom publia dans une lettre[1] adressée à l'Académie « dei Lincei » les résultats de ses expériences, effectuées avec le concours de la Marine royale italienne au cours des années 1903 et 1904. Les expériences faites dans le golfe de la Spezzia en février 1903 ont permis de s'assurer qu'il était possible d'échanger des communications entre la station radiotélégraphique de San Vito et celle de San Bartolomeo, distantes l'une de l'autre de 4 kilomètres, sans que les stations voisines de Varignano et de Palmaria, situées seulement à quelques kilomètres de la ligne reliant la station de San Vito qui transmettait à celle de San Bartolomeo qui recevait, aient reçu aucun des signaux.

Les expériences effectuées entre la station radiotélégraphique de Monte-Mario à Rome et celle d'Anzio, distante de 60 kilomètres, pendant les mois d'août, octobre et novembre 1903, ont permis de constater que lorsque le radiateur était dirigé vers Anzio, les signaux étaient correctement reçus, tandis qu'ils cessaient de l'être lorsque le radiateur était orienté dans la direction de la Sardaigne,

[1] *L'Electricien*, 22 avril 1905, p. 249.

la valeur de l'énergie employée étant la même dans les deux cas.

Pendant les expériences faites en mars et en avril 1904 entre la station de Monte-Mario et celle de Ponza, distante de 120 kilomètres, on a pu constater qu'il était possible de transmettre des signaux très nets à la station réceptrice de Ponza et, de plus, que l'on pouvait tripler la valeur de l'énergie utilisée, sans que la station de l'île de Maddalena, située légèrement sur le côté de la direction Monte-Mario-Ponza, ait reçu aucun signal.

Les bons résultats obtenus dans les expériences décrites ci-dessus ont décidé la Marine italienne à modifier les dispositifs Marconi, employés sur tous ses vaisseaux de guerre, d'après la méthode de Artom [1].

Nouveau dispositif de Braun. — M. le professeur Braun chercha à résoudre le problème d'une autre manière. Il employa quelques fils verticaux, et essaya de faire naître dans chacun de ces fils des ondes d'une phase et d'une amplitude déterminées, mais différentes dans chaque fil. Il en résulte des champs électriques d'intensité variable dans les différentes directions, de sorte qu'il y aura une direction d'intensité maximum.

Dans ses essais [2] faits près Strasbourg il se servit de trois antennes S_1, S_2 et S_3 (fig. 75) placées aux sommets d'un triangle équilatéral de 30 mètres de côté. Au centre de ce triangle se trouvait le local des appareils d'où partaient les fils; ils rejoignaient les mâts à quelques mètres du sol et s'élevaient ensuite verticalement jusqu'en haut. La figure donne une représentation schématique pour le cas où les phases et les amplitudes du courant sont les mêmes dans S_2 et S_3, mais différentes de celles dans S_1. En modifiant les connexions des antennes dans le local des appareils, au moyen d'un commutateur, il a été possible de donner aux phases et aux amplitudes du courant des valeurs égales dans S_1 et S_3 par exemple, mais différentes de celles dans S_2. L'avantage en était qu'on pouvait se servir d'un poste récepteur fixe situé dans la direction A et examiner l'intensité du champ dans trois direc-

[1] *Electrical World and Engineer*, Dec. 15, 1906, p. 1146.
[2] *The Electrician*, June 1, 1906, p. 244.

tions faisant entre elles un angle de 120°. T_1 et T_2 représentent des faisceaux de fils tendus à quelque distance du sol et reliés à l'extrémité inférieure des antennes; ils servent de contrepoids et remplacent les prises de terre. C_1 et C_2, L_1 et L_2 sont respectivement des condensateurs et des self-inductions réglables, à l'aide desquels on pouvait obtenir l'égalité de fréquence dans les deux systèmes. M. Braun faisait usage de circuits accouplés, et par un choix judicieux du degré d'accouplement on pouvait établir n'importe quel rapport entre les amplitudes des oscillations dans les trois fils. Il produisit les différentes phases exigées d'après une méthode, indiquée par MM. Papalexi et Mandelstam et il les mesura d'après la méthode décrite par M. Braun dans *The Electrician* jan. 19, 1906, p. 546. Comme instruments de mesure il se servit de bolomètres à faible résistance qui furent introduits dans l'antenne du poste récepteur, après intercalement de valeurs réglables de L et de C.

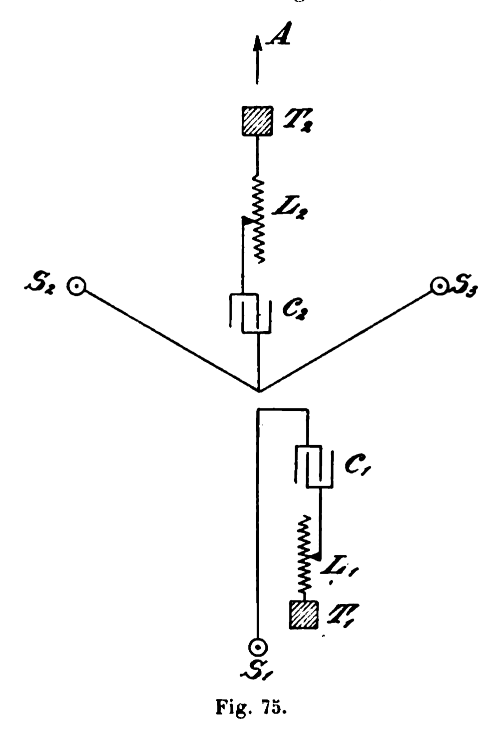


Fig. 75.

Or, dans les expériences on nota que, lorsque l'intensité du champ était minimum dans le poste récepteur A, pour une certaine différence de phase et d'amplitude, celle-là atteignait son maximum dans des directions différant de A respectivement de 120° et de 240°. Théoriquement ces deux maxima doivent être égaux; et il faut sans doute attribuer les écarts constatés à la présence de groupes d'arbres et de maisons. Dans l'ensemble, toutefois, les résultats des expériences confirment assez bien l'enseignement théorique. Au surplus nous renvoyons le lecteur à *The*

Electrician, May 25, 1906, p., 223 où il trouvera un exposé mathématique de la question.

M. Braun rechercha également quelle était la position la plus favorable de l'antenne réceptrice. Il constata qu'on obtenait le maximum d'effet lorsqu'on se servait d'une antenne d'une longueur égale à une demi-longueur d'onde tendue presque horizontalement et que le plan vertical passant par cette antenne correspondait à la direction des ondes.

Dispositif de Marconi. — Nous avons déjà fait remarquer à la page 147 qu'en 1897, M. Marconi s'était déjà occupé de la question de la dirigeabilité des ondes. En mars 1906, dans une conférence faite devant *The Royal Society*, il publia les résultats d'essais faits avec un dispositif tout autre. Il se servit d'un oscillateur représenté sur la figure 76; l'antenne transmettrice AB était

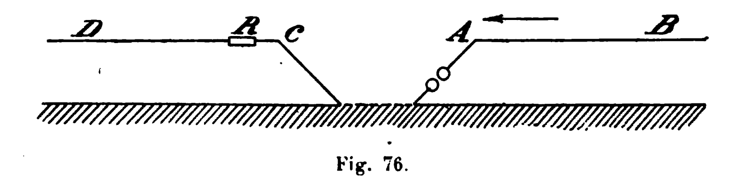


Fig. 76.

tendue horizontalement à une assez faible distance du sol. L'examen de l'intensité du champ dans le voisinage d'un tel oscillateur montra que celle-ci était maximum dans le plan vertical de l'oscillateur, dans la direction de la flèche, et minimum dans les directions qui faisaient avec cette dernière des angles de ± 100°. Lorsque l'antenne réceptrice CD était également à faible distance du sol et l'extrémité mise à la terre, après intercalement d'un récepteur d'ondes R, les signaux transmis étaient le plus clairs, lorsque l'antenne de transmission était située dans le plan de l'antenne de réception et lorsque l'extrémité C était dirigée vers la station transmettrice.

M. Marconi a fait de nombreuses expériences[1] avec de pareils dispositifs dont nous allons en indiquer un. L'antenne transmettrice horizontale de 30 mètres de long, était tendue à 1,50 m. du sol,

[1] *The Electrician*, May 4, 1906. p. 100.

l'antenne réceptrice également de 30 mètres de long et à 1,50 m. du sol, était placée de manière qu'elle pouvait tourner dans le plan horizontal. La distance de communication était de 225 mètres, le dispositif récepteur comprenait un thermo-galvanomètre de Duddell (p. 165) et l'énergie de transmission était autant que possible maintenue constante. Le diagramme ci-contre donne les inten-

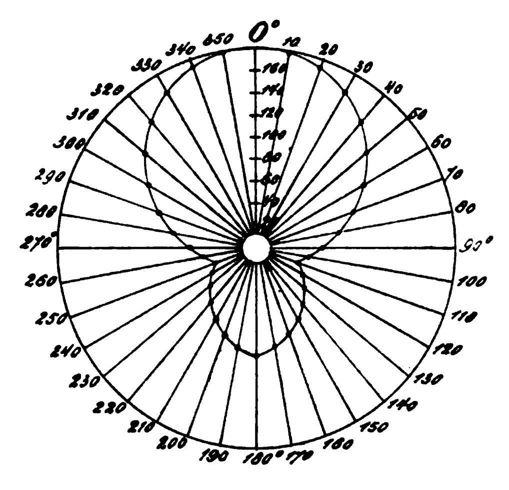


Fig. 77.

sités du courant dans l'antenne de réception en micro-ampères, observées dans les différentes positions de cette antenne vis-à-vis de l'antenne de transmission. L'angle 0° correspond à la position des antennes représentée dans la figure 76.

M. Marconi réussit également en se servant d'une antenne réceptrice horizontale de 330 mètres de longueur posée sur le sol et mise à la terre par l'une de ses extrémités, après intercalement d'un détecteur magnétique, à recevoir très nettement tous les signaux transmis par la station de Poldhu distante de 500 kilomètres de la station réceptrice. Dans cette expérience, l'extrémité libre de l'antenne réceptrice était détournée de la station de Poldhu ; toutefois lorsqu'on tourne cette antenne de plus de 35°, on ne percevait plus de signaux.

M. Marconi fait remarquer qu'avec ces arrangements il faut que la longueur des antennes horizontales soit grande par rapport à leur distance du sol ; les longueurs d'ondes employées doi-

vent également être grandes. Il obtint les meilleurs résultats avec des longueurs d'ondes de 150 mètres et au-dessus. M. Marconi note de plus que pour avoir des résultats sur des distances très grandes, la longueur la plus recommandable pour l'antenne réceptrice horizontale était environ 1/5 de la longueur d'onde, dans le cas où cette antenne était à une certaine distance du sol. Dans le cas où elle est posée sur le sol, elle doit être plus courte. Il fait remarquer en outre que les essais de communication à grande distance donnaient de meilleurs résultats avec accouplement galvanique qu'avec accouplement inductif.

M. le professeur Fleming démontra théoriquement que le rayonnement d'une antenne comprenant une partie horizontale et une partie verticale n'était pas le même dans toutes les directions. Vu qu'une explication de cette théorie nous mènerait trop loin, nous renvoyons les intéressés à « *The Electrician*, July 6, 1906, p. 455 ». Des expressions données par M. Fleming pour l'intensité des champs électrique et magnétique dans les points qui ne sont pas trop rapprochés de l'oscillateur, il appert que cette intensité est différente dans les différentes directions. Avec une antenne transmettrice verticale, en connexion avec la terre, dont une partie était recourbée horizontalement, le rayonnement était plus faible dans la direction de la partie recourbée que dans la direction contraire. Ces recherches de M. Fleming et d'autres plus récentes[1] ont confirmé encore plus de résultats établis empiriquement par M. Marconi.

Les expériences de M. Schmidt[2] montrèrent qu'avec l'application de fils tendus horizontalement, l'énergie radiée, utile à la réception, était inférieure qu'avec les antennes verticales ordinairement en usage.

[1] *The Electrician*. Dec. 28, 1906, p. 416.
[2] *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1906, S. 853.

CHAPITRE IX

APPAREILS ET INSTRUMENTS DE MESURE

Bobines d'induction. — Parmi les appareils qui sont employés dans une station transmettrice, nous devons citer en premier lieu la bobine d'induction de Ruhmkorff avec laquelle, le plus souvent, les décharges sont produites. D'un instrument de laboratoire cette bobine est devenue une partie principale de l'aménagement d'une station de radio-télégraphie et quand même les dimensions sont devenues plus grandes que celles avec lesquelles on fait des expériences de laboratoire, la construction est restée la même, par conséquent aussi le petit rendement.

La bobine d'induction de Ruhmkorff, appareil dont l'explication théorique est plus compliquée que d'aucuns pensent, ne sera pas traitée ici. Comme on le sait, la bobine peut être alimentée primairement soit avec un courant continu intermittent, soit avec un courant alternatif et par les hautes tensions qui se produisent dans les spires secondaires, ces spires doivent être isolées avec le plus grand soin. On peut se servir comme matière isolante de substances solides ou liquides.

Par l'expansion inégale, produite par des variations de température, les matières isolantes solides peuvent, au bout d'un certain temps, se détacher du métal ; par ce fait il se produit des décharges convectives qui sont les avant-coureurs du percement de la bobine. Avec des matières isolantes liquides, on ne peut jamais obtenir une si bonne isolation qu'avec des solides. Dans la bobine d'induction construite par MM. Wydts et Rochefort ils tâchent de réunir les avantages des deux matières en faisant usage d'une masse pâteuse que l'on obtient par la dissolution de paraffine dans du pétrole chaud.

L'appareil d'induction de Klingelfuss forme la transition entre les bobines d'induction et les transformateurs dont on se sert dans l'industrie.

M. Klingelfuss prend un noyau en forme de fer à cheval dont les deux branches sont munies d'une bobine primaire et d'une secondaire ; on pose des pièces polaires sur les deux branches, de sorte que le circuit magnétique est fermé entièrement ou presque entièrement. Le noyau et les pièces polaires sont composés de tôles de fer.

Transformateurs. — Quand, dans la station transmettrice, on fait usage d'une combinaison d'antennes d'une grande capacité qui sont de plus excitées indirectement, l'emploi de transformateurs est recommandable, car l'énergie qu'ils peuvent fournir est considérablement plus grande que celle des bobines d'induction. M. Blondel fut le premier qui appliqua les transformateurs à la télégraphie sans fil ; plus tard d'autres suivirent son exemple.

Dans le dispositif (fig. 88) dont M. Marconi se servit dans ses expériences transatlantiques, la bobine Ruhmkorff fut simplement remplacée par un transformateur, sans qu'on changeât rien au principe du dispositif ; seulement l'intercalement de quelques appareils spéciaux est devenu nécessaire. Les transformateurs sont des transformateurs de Tesla ainsi nommés. Sur un cadre rectangulaire de bois paraffiné ou d'ébonite on enroula l'enroulement primaire, consistant en 1 spire et le secondaire en 8 à 10. Ces transformateurs furent placés dans une cuve remplie d'huile de lin afin d'augmenter l'isolation. Il employa aussi un transformateur pareil dans ses essais entre Biot et Calvi.

Dans les stations réceptrices, M. Marconi se servit aussi de transformateurs, appelés par lui « jigger ».

Tous les transformateurs ne sont pas également propres à cet usage. D'après M. Marconi, les transformateurs ordinaires, avec un enroulement primaire de peu de spires épaisses, et un secondaire de beaucoup de spires minces, sont plutôt nuisibles à l'effet voulu. Dans les jiggers construits par lui, les fils des deux enroulements sont de même épaisseur.

La figure ci-contre représente une demi-coupe d'un jigger. La

coupe des fils n'est pas indiquée, comme cela devrait être en réalité, par des petits cercles, mais chaque ligne horizontale représente une couche de spires; la longueur de chaque ligne est proportionnelle au nombre des spires de chaque couche. V est la coupe de la paroi d'un tube de verre, sur lequel les spires sont enroulées. Dans le jigger ici en question, le circuit primaire P comprend 100 spires; chaque moitié de l'enroulement secondaire S com-

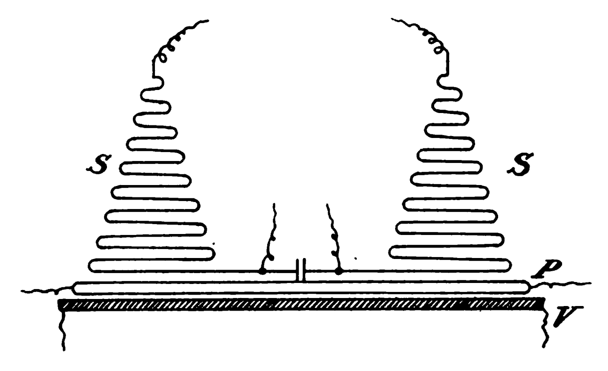


Fig. 78.

prend 500 spires, divisées en 17 couches; le nombre des spires de chaque couche va en décroissant de 77 à 3. M. Marconi prit un brevet pour beaucoup de dispositifs modifiés du jigger; la construction de ces appareils pourtant semble plutôt reposer sur des recherches empiriques que sur des bases théoriques. Dans la figure 57 on peut voir de quelle manière le jigger est intercalé dans le circuit récepteur.

Dans les expériences qui furent faites avec le système De Forest en Angleterre entre Howth (Irlande) et Holyhead (distants de 105 kilomètres) on se servit dans la station transmettrice d'une dynamo à courant alternatif qui alimentait un transformateur et celui-ci portait la tension de 500 volts jusqu'à 20000.

De même dans une des stations que la « De Forest Wireless Telegraph C° » avait élevée à l'Exposition de Saint-Louis on se servit d'une dynamo à courant alternatif de 2 kilowatts de 60 périodes et de 110 volts, dont la tension fut portée, au moyen d'un transformateur, à 20000 volts.

L'avantage qu'offre l'emploi d'une dynamo à courant alternatif

dans la station transmettrice, c'est que l'on peut se passer de l'interrupteur dont la régularité de fonctionnement pour des courants de haute tension laisse souvent à désirer. Là, où l'on est obligé de se servir d'accumulateurs, comme par exemple dans les stations mobiles, on peut, au moyen d'un moteur générateur, engendrer un courant alternatif qui est conduit dans un transformateur.

Interrupteurs. — Pour des descriptions et des dessins de différentes sortes d'interrupteurs qui ont trouvé une application à des bobines d'induction nous renvoyons le lecteur à un article de M. Armagnat dans l'*Éclairage Électrique* [1]. Beaucoup de ces interrupteurs qui conviennent parfaitement aux expériences de laboratoire ne sont pas praticables dans la télégraphie sans fil, ou bien parce que la régularité de fonctionnement laisse à désirer, ou qu'ils donnent un nombre d'interruptions trop minime. Ce nombre d'interruptions est d'une grande importance, car les ondes électriques engendrées par une décharge de l'oscillateur, à cause de l'amortissement, sont devenues très petites avant qu'une nouvelle décharge ait lieu. Plus les décharges se succéderont rapidement, plus facilement la station réceptrice pourra produire des signaux non interrompus d'une certaine longueur qui correspondent aux traits de l'alphabet Morse. Dans plusieurs de ces interrupteurs la période variable à la fermeture du courant est d'une durée différente de celle qu'on constate à la rupture et de là il s'ensuit que la force électromotrice induite dans ces deux périodes n'est pas de même grandeur, ce qui dans bien des cas sera un désavantage.

Parmi les interrupteurs à jet de mercure qui ont été appliqués bien des fois dans la télégraphie sans fil, nous décrirons, comme type caractéristique, celui de la « Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft » nommé interrupteur à turbine.

Dans une cuve fermée se trouve un petit tube *t* (fig. 79) recourbé à angle droit muni de deux ailettes hélicoïdales à la partie inférieure, laquelle est plongée dans du mercure ; au-dessus se trouve de l'alcool, jusqu'à une hauteur qui laisse la partie recourbée

[1] *L'Eclairage électrique*, t. XXVI, 1901, p. 9-15.

sous l'alcool. Quand le petit tube est animé d'un mouvement rotatoire rapide autour de son axe, le mercure monte et la force centrifuge le jette contre une boucle fixe de métal *r* qui se trouve en dehors du mercure. Dans cette boucle on a pratiqué des segments de sorte que le filet de mercure rencontrera les parties de métal ou passera par les parties coupées ; et comme la boucle est reliée à l'un des pôles et le mercure à l'autre, le courant sera alternativement interrompu et fermé. Le nombre des interruptions peut être réglé dans de larges limites — de 10 à 1000 par seconde — en faisant usage de boucles avec plus ou moins de parties coupées. Comme l'interrupteur est actionné par un électromoteur M on a encore un moyen de varier les interruptions en variant la vitesse de marche du moteur.

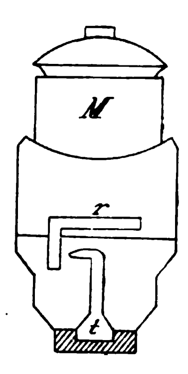


Fig. 79.

Un désavantage de pareils interrupteurs c'est que l'espace dans lequel se trouvent le mercure et l'alcool devient très sale, car on ne peut empêcher entièrement la formation d'étincelles; c'est pourquoi on est obligé de les démonter souvent pour le nettoyage. Pour éviter autant que possible la formation d'étincelles, on peut monter en dérivation un condensateur sur les bornes de l'interrupteur.

Ces interrupteurs à turbine, dans le montage à bord des navires, sont suspendus de telle façon qu'ils peuvent se mouvoir autour de deux axes qui sont perpendiculaires l'un sur l'autre (suspension à la Cardan).

Excitateurs (oscillateurs). — Au début de la télégraphie sans fil on croyait qu'en faisant jaillir les étincelles sous de l'huile, que l'action de l'excitateur — appareil dans lequel se forment les étincelles — pouvait être augmentée. Il est vrai que pour la même différence de potentiel, la distance explosive sous de l'huile devient considérablement plus petite que dans l'air, mais la résistance ohmique est pour la même distance explosive, pour la première étincelle beaucoup plus grande que pour la dernière, et comme l'augmentation de cette résistance est plus grande que la diminu-

tion dans la distance explosive, le résultat en sera que la résistance devient plus grande et ainsi l'amortissement aussi. De plus l'huile peut être décomposée par les étincelles et c'est pourquoi que dans la plupart des systèmes, on est revenu à faire éclater les étincelles dans l'air. Néanmoins M. Blondel et aussi MM. Boulanger et Ferrié obtinrent de bons résultats avec des étincelles qui jaillissaient sous le pétrole. Le matériel et les dimensions des boules de l'excitateur ne semblent pas avoir une influence sensible sur l'action ; seulement il est nécessaire de nettoyer de temps en temps les électrodes de la couche d'oxyde qui se forme par suite de la production des étincelles.

Nous avons déjà parlé au chapitre I de quelle manière plusieurs circuits oscillateurs peuvent être montés en série et des avantages qui en découlent. Pour de petites distances de communication, M. Tissot trouva avantageux de faire usage d'un excitateur avec 4 boules dont les deux extérieures sont reliées aux extrémités de la bobine d'induction et les deux intérieures à l'antenne et à la terre.

La figure ci-dessous représente la forme la plus récente d'un oscillateur de la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie ». Il comprend plusieurs électrodes *a* de forme cylindrique, qui offrent une bien plus grande surface qu'il n'était d'usage autrefois, ce qui diminue l'échauffement de ces électrodes. Lorsqu'une étincelle jaillit entre 2 électrodes, elle se promène le long de la surface des cylindres ; la place où jaillit l'étincelle varie ainsi constamment, et les endroits échauffés peuvent se refroidir entre temps. Ce refroidissement est en outre favorisé par un courant d'air qu'un ventilateur lance en A dans la boîte qui enferme les boules de l'excitateur. Le faible échauffement des électrodes maintient constant le nombre des étincelles. A l'aide des tiges *b* 2 ou plusieurs boules peuvent être mises en court-circuit, en proportion de l'énergie plus ou moins grande nécessaire pour la transmission. Comme on ne peut pas maintenir parfaitement égales les différentes longueurs d'étincelles, celles-ci jailliraient irrégulièrement. Pour prévenir ceci, on a disposé entre chaque paire de boules un petit condensateur *c*, qui est composé, dans les nouveaux appareils, de fils conducteurs revêtus de caoutchouc et munis d'une arma-

ture métallique. B et C sont des bornes auxquelles sont fixés les

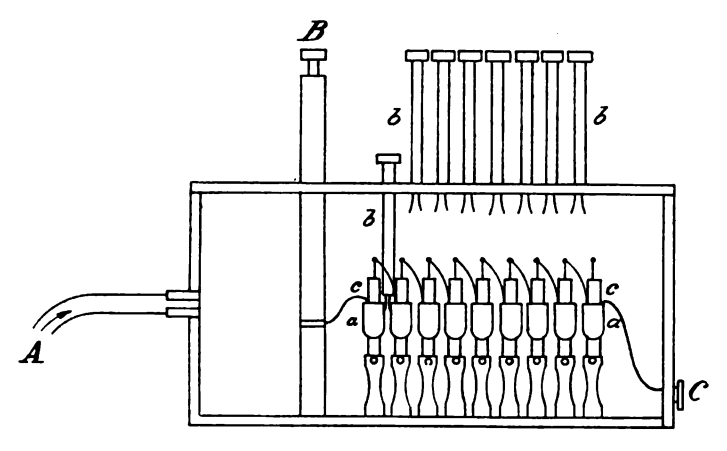


Fig. 80.

fils de jonction. Remarquons en outre que la boîte porte intérieurement un revêtement de feutre destiné à amortir le bruit des étincelles.

M. Fessenden, dans son système, fait jaillir l'étincelle dans une boîte métallique, remplie d'air comprimé ; cette disposition aurait l'avantage de produire un petit amortissement. Sur la figure 81, B est une tige de métal qui pénètre dans l'excitateur à travers une matière isolante ; elle est munie à l'extrémité inférieure d'une pointe qui forme l'un des pôles. L'autre pôle est le fond de métal D, tandis que P est une pompe à air, avec laquelle l'air peut être comprimé dans l'excitateur. En augmentant la pression de l'air, le potentiel peut être augmenté, et à partir d'une certaine pression, selon M. Fessenden, ce potentiel sera proportionnel à la distance où l'on peut télégraphier.

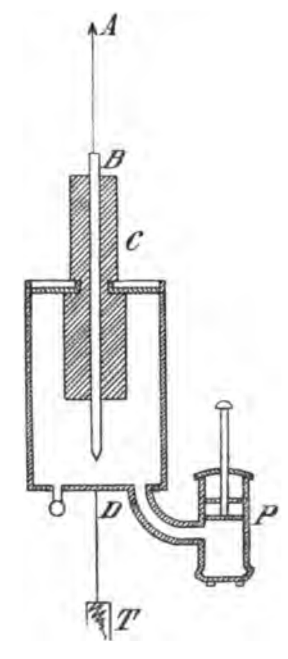


Fig. 81.

M. le professeur Fleming construisit également un excitateur

pour la Société Marconi, dans lequel les boules sont placées dans un cylindre rempli d'air comprimé, afin d'obtenir à la fois un potentiel de décharge plus élevé et un plus faible amortissement. M. Fleming appliqua de plus à son dispositif un mécanisme qui imprimait aux boules un mouvement rotatoire, de sorte que les étincelles ne pouvaient pas toujours jaillir aux mêmes endroits des sphères de l'oscillateur et par conséquent elles attaquaient ces sphères beaucoup moins.

Manipulateurs. — Étant donnés les courants de forte intensité, les manipulateurs qu'on emploie dans la télégraphie ordinaire ont subi dans la télégraphie sans fil une forme plus ou moins modifiée. La manière, par laquelle l'action nuisible de l'étincelle qui se produit à la rupture du courant est évitée, forme la différence caractéristique entre les différentes clefs en usage.

M. Maskelyne ainsi monte un condensateur en dérivation sur la clef, ce que M. Marconi fait aussi quelquefois, tandis que la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie » prévient la formation de l'étincelle au manipulateur par une action électromagnétique. La figure 82 donne une idée de cette dernière clef. R est un ressort

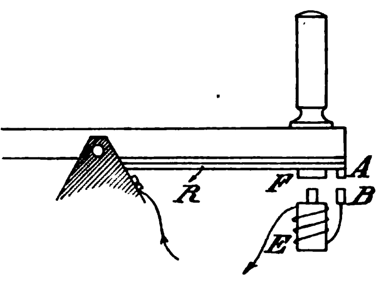


Fig. 82.

muni d'une pièce de fer F et d'un contact A. Lorsqu'on abaisse la clef, le courant passe du ressort R par le contact A, au contact B, et à l'électro-aimant E qui attirera et retiendra la pièce de fer F. Quand la clef est relevée, F sera retenu jusqu'à ce que le courant soit devenu très faible et alors le contact AB sera rompu de façon qu'il ne pourra pas se produire d'étincelle à cet endroit.

M. De Forest monte la clef dans une boîte, que l'on remplit d'huile lorsque l'on fait usage de courants de grande intensité.

Le bouton du manipulateur dépasse le couvercle et les fermetures et les ruptures du courant ont lieu dans la boîte.

Avec la clef, dont se servit M. Marconi dans ses expériences transatlantiques, la rupture se fit en même temps sur plusieurs points de contact qui avaient été placés sous de l'huile de vaseline.

Les signaux Morse sont produits dans la station réceptrice par les manipulateurs décrits ci-dessus, en fermant la clef pendant un temps plus ou moins long. MM. Marconi et Fleming cependant, en 1901, demandèrent un brevet pour une méthode avec laquelle cela se fait différemment. D'après la figure 83, tirée de la descrip-

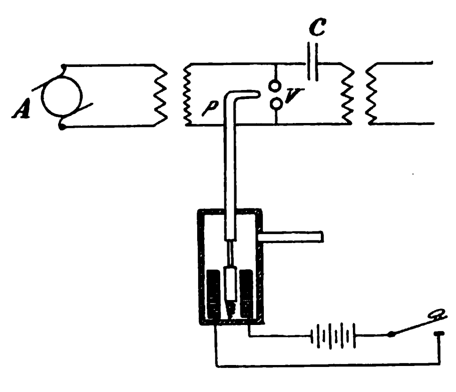


Fig. 83.

tion du brevet, il apparut que la dynamo à courant alternatif A fonctionne en permanence pendant toute la durée de la transmission d'un radio-télégramme, de sorte que de même il se produira continuellement des charges et des décharges dans le circuit fermé CV. L'émission d'ondes pendant un temps plus ou moins long, qui correspond aux traits et aux points de l'alphabet Morse, s'obtient en soufflant l'étincelle V dans des intervalles qui se succèdent plus ou moins rapidement. Cela peut s'obtenir à l'aide du tuyau *p* et la disposition nécessaire, indiquée sur la figure.

Maintenant nous passerons à la description des appareils les plus importants de la station réceptrice. En premier lieu il faut faire mention des récepteurs d'ondes électriques qui ont déjà été traités dans le chapitre IV. Outre les tapeurs et les relais, il convient d'indiquer les instruments avec lesquels on mesure les cou-

rants de haute fréquence et de très faible intensité qui se présentent dans la télégraphie sans fil.

Bolomètres. — Le bolomètre, instrument qui peut servir à mesurer l'intensité des courants dans les antennes réceptrices, à rechercher les conditions de résonance ou à déterminer l'amortissement, a trouvé une application très large, à cause de sa grande sensibilité pour de telles mesures. Il appartient au groupe d'instruments à fil chaud, comme aussi le thermomètre électrique employé dans l'ondomètre de Dönitz par exemple (fig. 68).

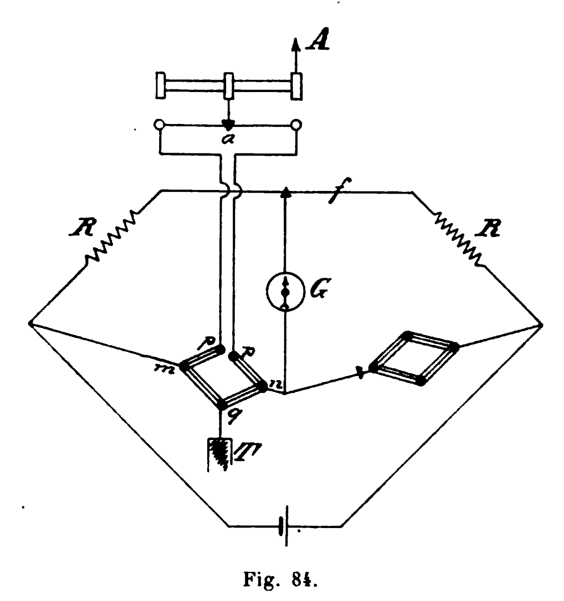


Fig. 84.

Dans le bolomètre de Langley on a intercalé 2 fils métalliques très minces dans les deux branches d'un pont de Wheatstone. Si le pont est équilibré, une variation de température de l'un de ces fils amènera une variation de la résistance de ce fil, variation qui sera enregistrée par le galvanomètre introduit dans le pont.

La figure 84 représente un arrangement dans lequel le bolomètre sert à indiquer et à mesurer les courants électriques dans les antennes. Chaque branche du bolomètre *mpnq* est formée de 4 petits fils parfaitement égaux et d'une matière à grand coefficient de température, comme par exemple le fer. L'antenne A

est alors reliée au point p et le fil de terre fixé à q. Si maintenant à l'aide des résistances R et du fil calibré f on a réglé le pont de telle sorte que le galvanomètre G n'éprouve aucune déviation, les courants engendrés dans l'antenne par les ondes électriques, amèneront une élévation de la température des fils bolométriques, qui fera dévier le galvanomètre.

L'étalonnage de l'instrument se fait à l'aide d'un courant continu. L'antenne et la prise de terre sont détachées et on fait passer par le bolomètre un courant continu d'une telle intensité que le galvanomètre indique la même déviation que celle provoquée par les ondes électriques. Comme il est nécessaire que l'équilibre du pont soit seulement rompu par la chaleur développée dans $mpnq$, on a ajouté à l'instrument un appareil de réglage, le pont auxiliaire a. Et cela se produira lorsque le renversement du courant continu dans le pont auxiliaire, amènera dans le galvanomètre la même déviation et dans le même sens.

Thermo-galvanomètre de Duddell. — Le thermo-galvanomètre de Duddell [1] peut également rendre d'excellents services dans les mesures susdites. Il consiste essentiellement en une résistance traversée par le courant à mesurer, placée très près du couple thermo-électrique d'un radimicromètre de « Boys ». La figure 85 en donne une représentation schématique. Entre les pôles NS d'un aimant permanent est suspendue, au moyen d'un fil de quartz g, une boucle de fil métallique l qui porte un couple thermo-électrique bismuth-antimoine attaché à son extrémité inférieure. En dessous de ce couple est placée la résistance chauffante h dont une borne est reliée au corps de l'instrument pour éviter les forces électrostatiques. Le mode d'action de l'instrument est le suivant : Le courant à mesurer échauffe la résistance h, ce qui

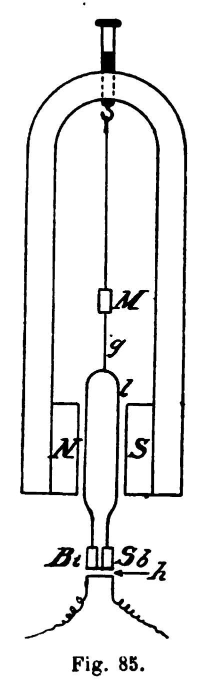


Fig. 85.

[1] *L'Electricien*, 10 juin 1903, p. 354.

produit une différence de température entre les deux soudures du couple thermo-électrique. Un courant continu est engendré et circule dans la boucle, et celle-ci tourne dans le champ magnétique en tordant le fil de quartz. Pour que la déviation atteigne très vite sa valeur finale, il faut que les dimensions de *h* soient aussi petites que possible. Pour cela, la résistance *h* consiste en un simple morceau de fil droit d'une longueur de 3 à 4 millimètres.

Remarquons que MM. Duddell et Taylor se sont servis de ce thermo-galvanomètre dans les expériences mentionnées pages 61 et 64.

Tapeurs. — Comme nous l'avons déjà dit, le but du tapeur est de ramener le cohéreur dans son état primitif de non-conducteur.

Dans les appareils de M. Ducretet le tapeur frappe le cohéreur au mouvement de recul qu'il effectue sous l'action d'un ressort après qu'il avait déjà été attiré par l'électro-aimant. L'étincelle de rupture se produit alors à un moment où la limaille n'a pas encore perdu la conductibilité et cette étincelle ne peut donc pas exercer une influence nuisible sur le cohéreur. Cet arrangement est le même que le dispositif Popoff (fig. 1), avec cette différence que chez ce dernier le circuit est interrompu en P, après que le cohéreur a été décohéré, de sorte que l'étincelle qui se produit à cette place peut actionner le cohéreur.

Pour éviter l'influence des étincelles de rupture, M. Marconi relia les conducteurs qui étaient interrompus, au moyen d'une bobine d'une grande résistance et d'une petite self-induction. Par ces bobines les grandes différences de potentiel, qui prennent naissance à la rupture, peuvent s'égaliser. De plus ces résistances ont pour effet de maintenir constamment un courant peu intense et, par suite, un certain degré d'aimantation dans l'électro-aimant du récepteur. Grâce à cet artifice, auquel vient s'ajouter l'inertie de l'armature du récepteur, la succession des ondes est enregistrée sous forme d'une ligne plus ou moins longue et non sous forme d'une série de points détachés. M. Marconi d'après la description de brevet[1], datée du 4 juin 1901, emploie aussi une résis-

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1898, S. 237.



tance liquide par laquelle on pouvait éviter la production d'étincelles. La résistance liquide consiste en une série de petits tubes de verre, remplis d'eau acidulée. Par leur force contre-électromotrice le courant de la batterie locale est arrêté, cependant le courant de haute tension qui peut prendre naissance à l'ouverture du circuit peut passer, de sorte qu'il ne peut se produire d'étincelles. Dans le système Slaby-Arco, on se sert aussi quelquefois de pareilles résistances liquides nommées piles de polarisation.

On peut également éviter la production d'étincelles à l'aide de condensateurs montés en dérivation avec le circuit à l'endroit où une étincelle peut se produire. Mais il est nécessaire de déterminer alors d'une manière précise la valeur de C, car l'intercalement d'un mauvais C pourrait causer un renforcement de l'étincelle.

Il va sans dire que dans les cohéreurs auto-décohérents, le tapeur n'a pas sa raison d'être ; et à la page 77 on a déjà fait remarquer qu'on peut se passer de tapeur dans les cohéreurs remplis de limaille de métal magnétique.

Les moyens susdits pour prévenir la formation d'étincelles sont employés non seulement dans les tapeurs, mais aussi dans les relais, et en général partout où les circuits de courants sont rompus.

Relais. — Comme il ne doit passer que des courants faibles par le cohéreur pour que le fonctionnement reste suffisamment régulier, le relais devra présenter une très grande sensibilité. Ce relais, comme dans la télégraphie avec fil sert à fermer un circuit dans lequel sont intercalés une batterie locale et un appareil enregistreur. Dans la plupart des systèmes de télégraphie sans fil, on se sert de relais qui s'emploient aussi dans la télégraphie ordinaire ; c'est ainsi que, par exemple, le relais polarisé Siemens a trouvé une grande application dans la radio-télégraphie.

En France, on se sert souvent de relais consistant en un cadre mobile comme celui, par exemple, de Claude ; sur ce cadre on a enroulé un fil conducteur dont les extrémités sont reliées au circuit cohéreur ; ce cadre est suspendu entre les pôles d'un aimant permanent et quand un courant passe par l'enroulement, le cadre, sous l'influence de l'aimant, subit une rotation par laquelle un contact se produit et le circuit local se ferme.

Dans les relais, genre Ducretet, la partie mobile est un cadre galvanométrique de Thomson suspendu entre pointes fixes ; des contrepoids équilibrent ce cadre placé dans le champ magnétique que donnent les pôles d'un puissant aimant. Ce relais est aussi particulièrement sensible : un courant d'une partie d'un milliampère produit une déviation suffisante pour établir un bon contact capable d'actionner une sonnerie d'appel ou un Morse enregistreur. Le relais employé dans le système de M. Rochefort est décrit à la page 171 parmi les dispositifs récepteurs.

Le relais « Armorl », nom formé de la combinaison des noms de ses deux inventeurs : MM. Armstrong et Orling, est basé sur le principe que les forces capillaires, au point de contact entre le mercure et l'eau acidulée, se modifient lorsque ce contact est traversé par un courant électrique. Le relais se compose d'un tube, suspendu comme le fléau d'une balance ; le tube contient de l'acide sulfurique dilué et une goutte de mercure. Quand un courant passe, le mercure se déplace dans le sens de ce courant en faisant basculer le fléau, dont l'aiguille vient toucher un contact qui ferme le circuit local.

Dans ces systèmes où les radio-télégrammes sont reçus au moyen d'un téléphone, on peut se passer de ces relais sensibles. Dans ces cas, il est nécessaire que le télégraphiste écoute constamment avec l'appareil récepteur si l'on transmet un télégramme ; et pour parer à cet inconvénient, on introduit souvent un relais d'appel dans le circuit récepteur. Dans celui de M. Sullivan, l'appel se fait à l'aide d'une sonnerie ordinaire à trembleur. L'instrument se compose d'un aimant permanent et d'une bobine mobile attachée en haut et en bas à une suspension constituée par un ruban de bronze phosphoreux ; il est donc analogue au galvanomètre marin du même inventeur. Dans le relais d'appel, la bobine mobile porte un bras muni de contacts à ses extrémités. Si la bobine est alors traversée par un courant, elle tourne et ferme le circuit d'une batterie locale et d'un trembleur. La sensibilité du relais Sullivan est si grande, que le courant produit par un seul élément et passant dans une résistance de 8 mégohms, suffit largement pour actionner l'appareil. La bobine mobile porte aussi un petit miroir qui permet, à l'aide d'une lentille, de projeter sur le mur

de la salle une grande tache lumineuse. Le mouvement de cette tache attirerait aussitôt l'attention dans le cas où il viendrait à se produire une interruption accidentelle dans le circuit de la sonnerie.

Enregistreurs Morse. — Quand on ne fait pas usage d'une sonnerie d'appel, on se sert d'un enregistreur à fonctionnement automatique, accompagné d'un déclancheur également automatique. De lui-même, l'enregistreur automatique fait dérouler sa bande de papier dès que les ondes électriques frappent l'antenne ; elles s'enregistrent et l'appareil s'arrête encore de lui-même dès que ces ondes cessent. La présence du télégraphiste pour la réception immédiate des signaux n'est pas nécessaire avec ces enregistreurs. Comme la vitesse de transmission est moins rapide en radio-télégraphie, il a fallu ralentir la vitesse de déroulement de la bande de papier.

Nous faisons remarquer que nous avons choisi çà et là, dans la grande diversité des appareils en usage dans les différents systèmes, de sorte que cet exposé ne peut être complet.

CHAPITRE X

DISPOSITIFS DE QUELQUES SYSTÈMES

En France, on fit déjà de bonne heure des expériences sur la télégraphie sans fil ; nous ne citerons que celles de M. Ducretet entre le Panthéon et la tour Eiffel en 1898 et celles que fit M. Tissot en Corse en 1899, également avec des appareils de Ducretet. Ensuite celles de MM. Boulanger, Ferrié, Rochefort, Turpain et autres ; nous décrirons le système Rochefort, dont se sont servis, par exemple, la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, d'une part, et la « London Brighton and South Coast Railway » d'autre part, pour leur service particulier entre Dieppe et Newhaven.

Dispositif de Rochefort. — Une originalité du système Rochefort, c'est que le courant qui passe par l'interrupteur et par l'enroulement primaire du transformateur ne marche pas par le manipulateur. Celui-ci n'est traversé que par le courant d'une petite batterie, qui actionne trois électro-aimants, après quoi, et au moment où l'on abaisse le manipulateur, l'interrupteur est mis en jeu au moyen d'une sorte de métronome à ressort qui fonctionne par le choc d'un balancier. L'électro-aimant *m*, appartenant à l'interrupteur *a* se trouve indiqué dans le dispositif transmetteur représenté par la figure 86. Dans ce dispositif, on fait usage d'un interrupteur à mercure. Une tige de métal *h* se meut de haut en bas, fermant et interrompant le courant dans un godet rempli de mercure ; *b* est un transformateur unipolaire, ainsi nommé parce que l'enroulement est pratiqué de telle façon que le potentiel de l'un des pôles est beaucoup plus grand que celui de l'autre. La borne à basse tension est mise à la terre. L'oscillateur *c* est porté

par le transformateur lui-même. La syntonisation s'obtiendra à l'aide du condensateur réglable *d* et en intercalant au moyen des ponts *e* et *f* plus ou moins de self-induction dans le circuit condensateur et dans l'antenne. Sur la même figure, A représente l'antenne, T la terre, D et E les pôles de la source d'énergie primaire et C un condensateur pour prévenir la production d'étincelles à l'interrupteur.

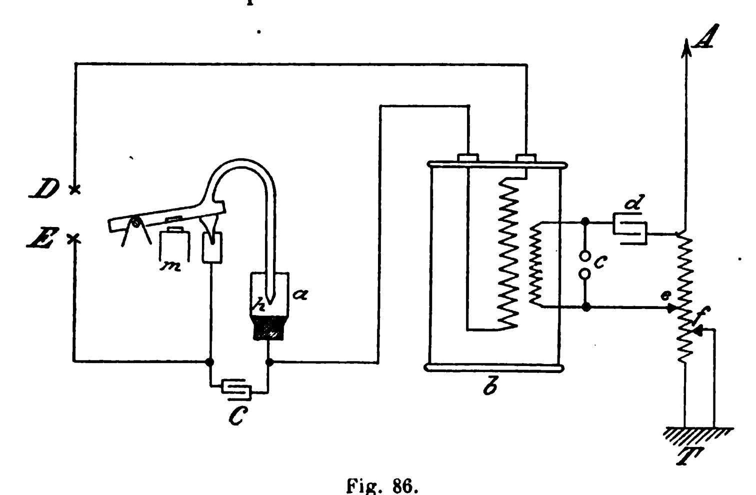


Fig. 86.

Dans le dispositif récepteur d'un poste Rochefort, où la réception se fait avec l'enregistreur Morse (fig. 87), on trouve appliqué le résonateur Oudin bipolaire. Cet appareil est constitué par un fil d'argent couvert de deux couches de soie et enroulé sur un tambour en ébonite. La couche extérieure des spires est mise à nu sur une certaine largeur pour permettre de placer les trois ponts *a*, *b* et *c* selon les besoins de la syntonisation.

Comme particularités de ce dispositif récepteur, il faut noter le cohéreur à trois prises R représenté par la figure 31 et le relais D construit par M. Rochefort. C'est un relais à cadre mobile, à double enroulement et à réglage par un courant antagoniste passant dans l'enroulement *d* du cadre. Lorsque le cohéreur est actionné, un courant passe par l'enroulement direct *e* du relais. L'instrument est réglé par la résistance de balance *r* et le pont *f*. Le passage de ces deux courants donne lieu à un mouvement de balance dans le relais qui permet une très grande sensibilité.

Trois petits accumulateurs B fournissent le courant au frappeur F et au Morse M, tandis que l'accumulateur E fournit le courant au cohéreur. L'emploi de la bobine de self-induction S, a pour but, d'après M. Rochefort, d'éviter les courants telluriques. Dans le récepteur au son appliqué par M. Rochefort, on se sert du

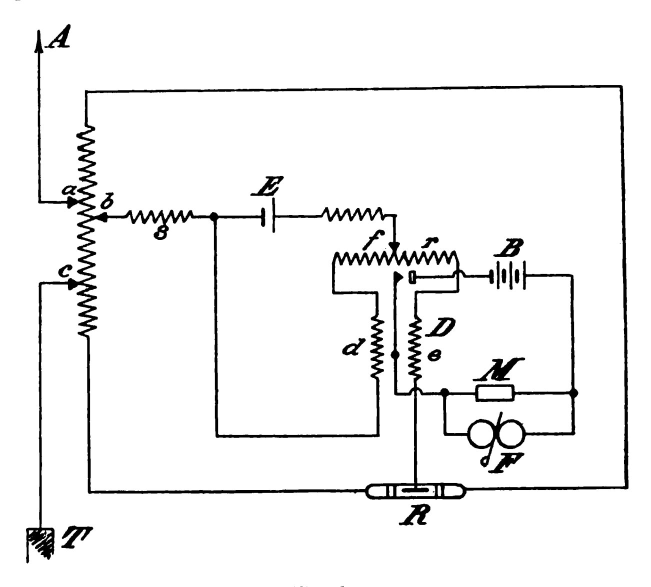


Fig. 87.

détecteur électrolytique de M. Ferrié (p. 95). Dans la station réceptrice on se sert alors de trois détecteurs semblables correspondant à trois sensibilités différentes ; ceux à fils actifs les plus fins sont réservés pour les réceptions les plus lointaines, ceux à fils actifs les plus gros étant destinés aux réceptions à courtes distances ou à fortes puissances, qui abîmeraient les fils trop fins.

Dispositif de Marconi. — Des nombreux brevets pris par la « Marconi Wireless Telegraph C° », société qui fut fondée en 1896, nous ne voulons faire mention que du brevet d'invention, daté du 4 décembre 1896, relatif à un dispositif récepteur dans lequel deux bobines d'impédance furent intercalées dans le circuit cohéreur (fig. 57). Quelques années plus tard, la « Marconi International Marine Communication C° », fut créée et cette Société eut pour tâche la communication entre les vaisseaux et les stations côtières,

tandis que la première Société n'édifiait que des stations pour le service entre les côtières.

En ce qui concerne les stations à grande portée que nous devons à M. Marconi, nous ferons mention de la station de Coltona près de Pise qui, d'après M. Marconi, pourra être mise en communication avec la Grande-Bretagne, le Canada, les États-Unis et avec tous les vaisseaux dans la Méditerranée, la mer Rouge, l'Océan Atlantique et l'Océan Indien. Cette station n'était pas encore en exploitation en 1906, à cause des difficultés soulevées par les Sociétés de câbles qui pensent que leurs traités ne pouvaient pas tolérer cette exploitation[1].

La figure 88 nous expose le dispositif dont se servit M. Marconi dans les stations transatlantiques à Poldhu (Cornouailles) et au cap Breton (Amérique). Parmi les autres grandes stations Marconi nous citerons encore celle de Bari (Italie) et celle d'Antivari (Monténégro), situées toutes deux à la mer Adriatique et qui depuis le mois d'août 1904 sont en service courant ; le rayon d'action des deux stations dépasse 500 kilomètres.

Sur la figure 88, M est une dynamo à courant alternatif de 50 kilowatts d'une tension de 2 000 volts et qui est actionnée par

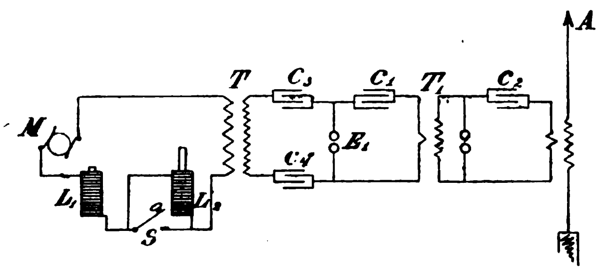


Fig. 88.

une machine à vapeur de 100 chevaux. La tension primaire est élevée dans le transformateur T à 20 000 volts. L'enroulement secondaire de ce transformateur forme avec le condensateur C_1 et le transformateur Tesla T_1 un circuit fermé dans lequel, à la décharge en E_1, il se produit des vibrations.

L'enroulement secondaire du transformateur T_1 est relié de la

[1] *Zeitschr. für Elektrotechn.*, 12, XI, 1905, S. 677.

même manière à un deuxième circuit, avec lequel l'antenne A est accouplée inductivement. Les tensions qui se produisent dans l'antenne (dont la construction a été décrite page 27) étaient si élevées que l'on pouvait en tirer des étincelles de 30-40 centimètres de longueur. Les condensateurs C_1 et C_2 d'une grande capacité sont constitués par des lames en verre recouvertes, sur les deux faces, d'une feuille carrée d'étain. Pour empêcher qu'il se produise un arc permanent, on intercala deux bobines de réaction L_1 et L_2 dans le circuit de la dynamo. L'impédance de ces bobines est si grande que quand le noyau de fer se trouve à l'intérieur d'une des bobines, l'intensité du courant est minime. En poussant un des noyaux dans sa bobine à une distance plus ou moins longue, on règle de façon que l'arc permanent disparaît, cependant la charge et la décharge du condensateur subsistent. Ces bobines, comme il a été démontré par la pratique, ne pouvant pas empêcher suffisamment la production d'un arc permanent, on ajouta au dispositif les condensateurs C_3 et C_4 : condensateurs de sûreté ; ce moyen parut décisif. Avec la bobine d'impédance L_1 on obtient le réglage tandis que la bobine L_2, au moyen du manipulateur S, peut être mise en court-circuit. En manœuvrant le manipulateur de la même manière que dans la télégraphie avec fil des signaux peuvent être transmis. En abaissant la clef, le transformateur T sera excité parce que L_2 est mise en court-circuit. Quand, par contre, la clef est soulevée, cette bobine sera de nouveau intercalée et les décharges s'arrêtent immédiatement.

M. Marconi, avec ce dispositif, réussit en décembre 1901 à percevoir dans la station sur la côte américaine la lettre S qui avait été émise de Poldhu, lorsqu'il retourna en Angleterre à bord du Transatlantique *Philadelphia ;* il déclara avoir reçu des signaux plus ou moins nets à une distance de plus de 3 000 kilomètres de la station transmettrice. En janvier 1903, il étonna de nouveau le monde : de la station du cap Cod (Massachusetts) un marconigramme avait été transmis de M. le président Roosevelt à S. M. le roi d'Angleterre. Ce télégramme et la réponse qui fut envoyée par câble sous-marin donnèrent lieu à bien des discussions dans les journaux et les revues anglaises et américaines. Le *Times* publia en avril 1903 deux marconigrammes, qu'il avait

reçus de l'Amérique ; il communiquait en même temps à ses lecteurs qu'il avait passé un contrat avec la société Marconi, par lequel il lui était possible de publier régulièrement des marconigrammes du Nouveau Monde. Par un défaut dans une des stations le but poursuivi ne pouvait être atteint et la rubrique marconigrammes disparut du *Times.*

Cependant, M. Marconi continua ses expériences transatlantiques et fit construire une nouvelle station à Clifden sur la côte d'Irlande. Le réseau aérien de cette station diffère du tout au tout de celui de Poldhu. Les nombreux fils aériens réunis en un système unique dont on se sert ici sont remplacés là par des plaques métalliques.

Pendant leur traversée, les transatlantiques sont à présent toujours en communication, soit avec les stations Marconi de Poldhu ou de Clifden, soit avec celle du Cap Cod. C'est ainsi que, par exemple, le *Lucania* de la Compagnie « Cunard » qui arriva de New-York à Liverpool, en mars 1907, se trouvait au milieu de l'Océan Atlantique en correspondance à la fois avec Poldhu et avec Cap Cod. Pendant cette même traversée le bateau a échangé des radiotélégrammes avec vingt-quatre autres bateaux à vapeur.

Une application pratique due à M. Marconi sont les petits journaux imprimés quotidiennement à bord de beaucoup de bateaux de la « Cunard Line », contenant les dernières nouvelles d'Europe ou d'Amérique transmises pendant la traversée par la radiotélégraphie.

Le « Marconi Internat. Mar. Comm. C° » communique dans un de ses rapports annuels que M. Marconi, en octobre 1903 à bord du *Duncan* en partance pour Gibraltar, reçut encore des dépêches de la station Poldhu lorsque le « Duncan » se trouvait déjà dans le port de Gibraltar. La tempête magnétique du 31 octobre 1903, qui apporta des troubles dans la télégraphie ordinaire et sous-marine, n'eut pas d'influence nuisible sur les signaux reçus.

Dispositif Gesellschaft für drahtlose Telegraphie. — En Allemagne, ce sont MM. Slaby, Arco, Siemens, Braun et autres, qui se sont particulièrement distingués en ce qui concerne la télé-

graphie sans fil. Les brevets accordés aux deux premiers étaient entre les mains de l'« Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft », tandis que l'établissement « Siemens et Halske » possédait ceux de MM. Siemens et Braun. Cependant, en 1903, on érigea une nouvelle Société, la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie système Telefunken » où les brevets des deux maisons furent admis.

Parmi les nombreuses stations élevées par cette Société, non seulement en Allemagne mais aussi en Amérique, nous mentionnerons comme station à grande portée celle qui est installée à Norddeich pour le compte de l'administration allemande des Postes. On a construit quatre grandes tours figurant un quadrilatère équilatéral, entre lesquelles le système des fils transmetteurs a pris la forme d'un entonnoir. On peut correspondre radiographiquement de cette station avec toute l'Europe centrale, la mer du Nord et la mer Baltique.

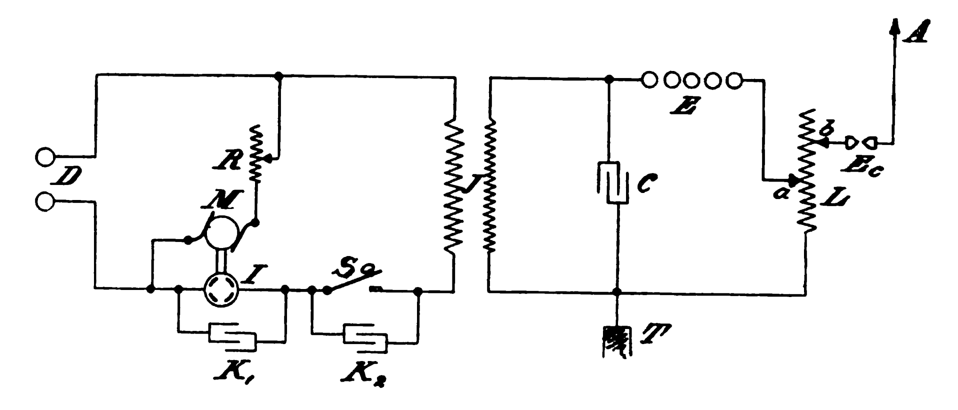


Fig. 89.

La figure 89 représente le dispositif appliqué généralement par la *G. f. d. T.* ; D est la source d'énergie, J la bobine de Ruhmkorff, S le manipulateur et I l'interrupteur à turbine qui est actionné par un électromoteur M. Tous ces appareils ont déjà été décrits plus haut. K_1 et K_2 représentent des condensateurs qui servent à prévenir la production d'étincelles à la rupture du courant dans I et S. La résistance réglable R sert à modifier la vitesse du moteur et par le fait même, le nombre des interruptions de I. Le réglage est ainsi fait qu'il y a résonance entre l'oscillation propre

du circuit secondaire et le nombre d'impulsions du courant dans le circuit primaire : principe des inducteurs à résonance, page 106. Dans le circuit secondaire, E est l'oscillateur représenté sur la figure 80. C représente quelques bouteilles de Leyde montées en dérivation, dont une ou plusieurs peuvent être mises hors du circuit, de sorte que la période des ondes dans le circuit oscillateur peut être modifiée. Cette variation s'obtient aussi en déplaçant le curseur *a* le long de la bobine L, parce que par là la valeur de la self-induction intercalée sera modifiée. Le curseur *b*, également mobile le long de la bobine L, sert à établir l'accord entre les vibrations du circuit oscillateur et la période propre de l'antenne transmettrice A. Cette antenne n'est pas directement reliée au dispositif transmetteur, mais en est séparée par un intervalle explosif. A la transmission, cette coupure est immédiatement franchie par une petite étincelle E_c, mais à la réception, les ondes qui frappent l'antenne ont une amplitude de tension beaucoup trop faible pour franchir l'intervalle. C'est pour cette raison qu'il n'est pas nécessaire à la réception de détacher l'antenne du circuit transmetteur.

La figure ci-contre représente le dispositif récepteur correspondant. Les messages y sont reçus, soit avec un enregistreur Morse (partie supérieure de la figure), soit avec un téléphone (partie inférieure de la figure). Le montage inductif avec accouplement lâche sont les caractéristiques de ce dispositif dont le grand avantage est que la variation du degré d'accouplement le rend indépendant des signaux d'autres stations, lors même que la différence des longueurs d'ondes est très faible ; en d'autres termes, on obtient ainsi une syntonisation très accentuée.

Sur la figure, A représente l'antenne qui peut être syntonisée sur les ondes transmises à l'aide de la bobine de syntonisation S et du condensateur réglable K_1. Dans la pratique, cette syntonisation se fait avec un récepteur téléphonique ; on accorde les oscillations propres du circuit récepteur avec l'antenne, au moyen du condensateur réglable K_2 et du curseur *b* qui sert à modifier la self-induction. Après cela on syntonise le dispositif récepteur avec l'enregistreur Morse sur l'antenne, en mouvant le curseur *a* et en réglant la capacité du condensateur K. Le dispositif fonc-

tionne alors comme suit. Quand le cohéreur C est actionné, le relais R sera excité par le courant de l'élément E du cohéreur, et le contact *c* sera fermé. Le courant de la batterie B fera alors

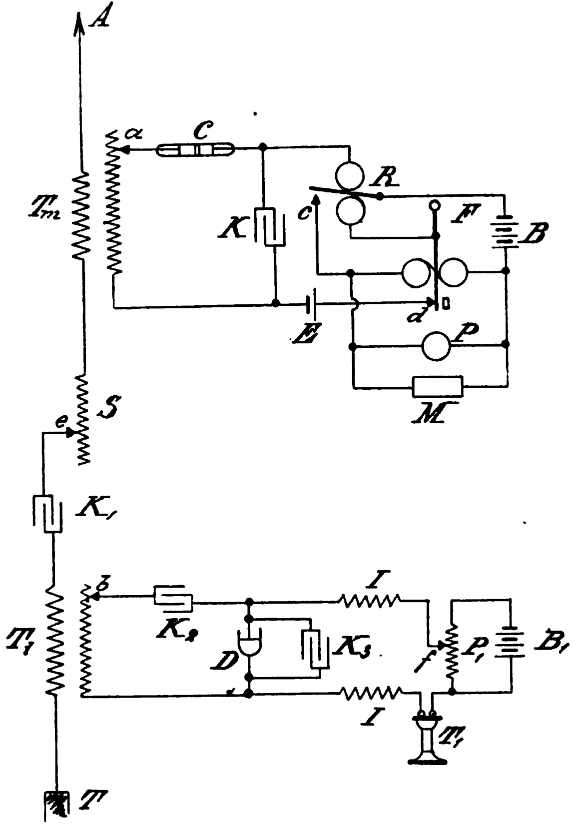


Fig. 90.

fonctionner le tapeur F et en même temps les dépêches seront enregistrées au moyen de l'appareil Morse M. Entre temps le cohéreur sera redevenu non-conducteur, le contact *d* sera rétabli et tout le système est retourné à l'état initial. Le but de la pile de polarisation P a déjà été indiqué (p. 167).

Dans le dispositif avec récepteur téléphonique, D représente le récepteur électrolytique de Schlömilch décrit à la page 94. La résistance réglable P_1 sert à modifier la tension de la batterie B_1, ce qui est nécessaire pour le réglage du récepteur. Le conden-

sateur K_3, monté en dérivation avec le récepteur, a pour but d'en paralyser la grande résistance ohmique qui augmenterait l'amortissement, tandis que les bobines de réaction I empêchent les courants de haute fréquence de passer, et l'action des ondes reste ainsi concentrée dans le circuit du détecteur.

Dans la pratique, la réception se fait assez généralement au son — dans les autres systèmes également — à cause de la simplicité des dispositifs et de la vitesse de transmission. L'appareil Morse ne sert plus guère que pour les explications au public intéressé.

La station établie à Nauen près Berlin par la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie » et mise en service en 1906, diffère grandement de celles qui ont été construites jusqu'ici Le système des fils transmetteurs figurant un paravent est fixé à une tour en fer de 100 mètres de haut qui peut être considérée comme partie du radiateur. La tour avec les haubans qui la maintiennent en position verticale sont parfaitement isolés de la terre. Quatre bobines d'induction montées primairement en série et secondairement en dérivation, sont alimentées par une dynamo à courant alternatif de 24 kilowatts, tandis que le condensateur se composant de 360 bouteilles de Leyde et l'enroulement secondaire des bobines d'induction sont mis en résonance aiguë avec le circuit à courant alternatif. Par cette syntonisation (p. 106) la charge de la grande batterie ne nécessite qu'une assez faible quantité d'énergie. Le mode de fermeture et de rupture du courant dans le circuit transmetteur primaire pendant la transmission, en usage dans les petites stations, ne peut pas être appliqué ici, à cause des fortes intensités des courants. C'est pourquoi on imagina une autre méthode indiquée dans la figure 91. Dans cette figure, B représente deux bobines de réaction montées en série ; quand on abaisse la clef M, la dynamo D actionne les bobines J, tandis qu'en relevant la clef, ces bobines sont mises en court-circuit et le courant alternatif ne peut traverser que les deux bobines de réaction. Ces manipulations se font par l'intermédiaire d'un relais R qui est actionné par le courant de l'excitatrice E quand on abaisse la clef. Comme la différence d'intensité des courants dans les deux circuits est relativement faible, le relais fonctionnera sans

grand échauffement des contacts ; d'ailleurs le ventilateur V contribue aussi pour sa part à cet effet.

On a reçu à Saint-Pétersbourg, aussi bien au son qu'avec l'enregistreur Morse, des radiotélégrammes émis de Nauen ; soit une distance de 1 350 kilomètres tout entière sur le continent. Le bateau à vapeur *Bremen* du « Norddeutsche Lloyd » reçut

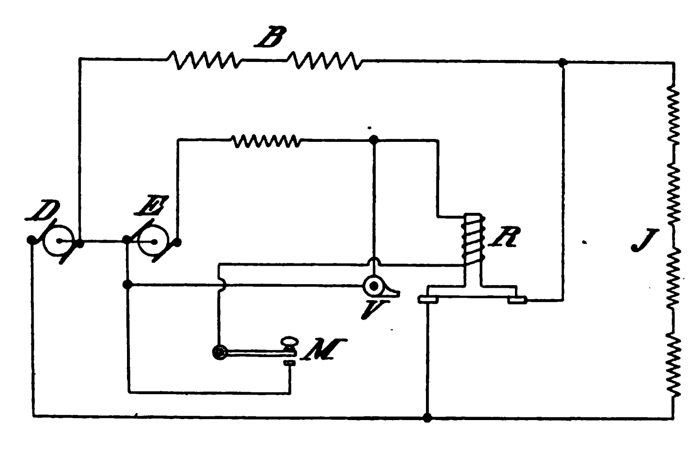


Fig. 91.

même, en octobre 1906, pendant sa traversée d'Europe en Amérique des télégrammes de Nauen à une distance de 2 500 kilomètres, dont 1 000 kilomètres sur le continent. Et ce n'est pas encore là une limite du rayon d'action ; on a fait récemment encore des essais pour franchir des distances bien plus grandes.

Dispositif de Lodge-Muirhead. — En Angleterre la télégraphie sans fil se développa par les recherches et les inventions d'hommes comme MM. Lodge, Fleming, Preece, Maskelyne, etc. Dans ce pays naquirent par exemple les systèmes Lodge-Muirhead, Orling-Armstrong et Maskelyne.

M. Lodge, déjà en 1897, prit plusieurs brevets ayant rapport à la radiotélégraphie ; nous ne mentionnerons en passant que l'excitation inductive du circuit-cohéreur, la méthode de syntonisation, la décohérence du cohéreur, un dispositif avec lequel l'antenne pouvait être reliée au moyen d'un commutateur aux appareils de réception ou à ceux de transmission, etc.

M. Fleming, dans une conférence qu'il fit en mars 1903 au « Royal Institution », voulut démontrer expérimentalement que de petites stations pouvaient être parfaitement protégées contre l'influence de la puissante station de Poldhu, en appliquant une syntonie marquée. C'est à cette occasion que le physicien anglais Nevil Maskelyne prouva d'une manière frappante que la méthode de syntonisation appliquée ordinairement n'était pas encore arrivée à cette perfection qui lui était attribuée par certains. Pendant la conférence de M. Fleming, M. Maskelyne réussit non seulement à intercepter la dépêche qui était transmise de Poldhu, mais en faisant fonctionner ses appareils en même temps il y mêla des communications et de cette façon les expériences de Fleming éprouvèrent un trouble ; là-dessus il s'ensuivit une grande discussion dans la revue *The Electrician.*

M. Lodge a contribué pour une large part aux progrès de la télégraphie sans fil. De sa collaboration avec M. Muirhead sortit le système actuellement en usage « Lodge-Muirhead », qui n'est qu'une amélioration successive du système original de Lodge. En 1901 fut fondée la « Lodge-Muirhead Wireless Telegraph Synd. » qui réunit les brevets de MM. Lodge et Muirhead.

Une particularité remarquable de ce système est qu'on n'y fait jamais usage de prise de terre, mais bien d'un contrepoids (p. 65). La figure 92 donne une représentation schématique d'un dispositif transmetteur à circuit ouvert. On transmet les signaux à l'aide d'une clef Morse, manœuvrée à la main ; on applique aussi un transmetteur automatique avec un perforateur. Dans les deux cas on se sert dans le circuit primaire de la bobine d'induction J d'un interrupteur de construction toute particulière, appelé « ronfleur ». Il se compose de 2 parleurs ordinaires reliés en croix l'un avec l'autre. Le mouvement de va-et-vient de l'armature de l'un des électro-aimants ouvrira et fermera alternativement le courant dans le deuxième électro-aimant. L'armature de ce dernier porte un bras d'aluminium à l'extrémité duquel est attachée une tige de cuivre qui plonge dans le mercure. Lorsqu'on appuie sur le levier du manipulateur, les deux parleurs et leurs armatures s'animeront d'un mouvement rapide et ininterrompu, de sorte que la tige de cuivre plongera dans le mercure qu'elle quittera aussitôt

du même mouvement rapide et continu. De cette manière on obtient des fermetures et des ruptures de courant très rapides dans le circuit primaire de la bobine d'induction ; d'ailleurs le nombre en peut être réglé en modifiant la course supérieure des armatures et la longueur de la tige de cuivre qui plonge dans le mercure.

La self-induction L et le condensateur C, intercalés dans l'an-

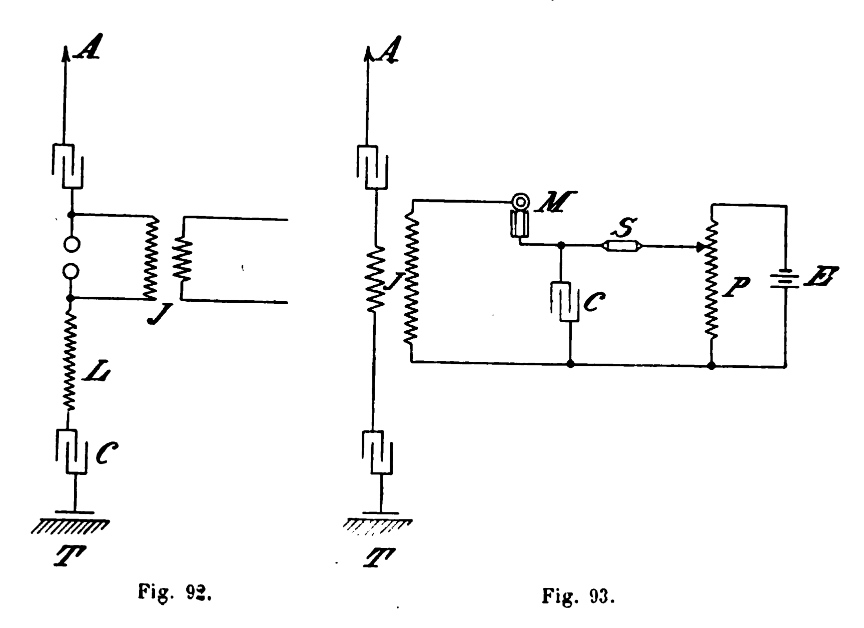


Fig. 92. Fig. 93.

tenne, sont tous deux réglables pour les besoins de la syntonisation entre les ondes transmises et l'oscillation propre de l'antenne.

Sur la figure 93, qui représente un dispositif récepteur, il convient de remarquer qu'au lieu du cohéreur à limaille, employé autrefois par M. Lodge, on se sert du cohéreur à mercure M décrit à la page 83, tandis que l'enregistreur est un siphon-recorder S relié directement au cohéreur et à la pile E sans l'intermédiaire d'un relais. P est un potentiomètre qui permet de régler la tension de telle sorte que le cohéreur fonctionne le mieux possible. Notons en outre qu'on se sert d'une bobine d'induction sans fer J qui augmente l'amplitude des ondes et qui permet en même temps d'intercaler le cohéreur dans un second circuit, de façon que ce dernier ne puisse pas exercer une influence nuisible sur les ondes

reçues. Le condensateur C, monté parallèlement, sert à concentrer les ondes dans le circuit propre du cohéreur.

Le principal objectif de Lodge et Muirhead était de trouver un système de fonctionnement rapide et sûr, à syntonisation accentuée et où un grand rayon d'action n'entrait qu'en seconde ligne. Ils ont d'ailleurs largement réalisé leur plan, preuves les bons résultats qu'ils ont obtenus dans leurs stations de Hythe, de Douvres et d'Elmers End. De la première de ces stations on a envoyé des radiotélégrammes à une distance de 60 milles, en se servant d'une puissance de 1/6 de cheval seulement.

Quant à la netteté de la syntonisation, on en jugera d'après l'expérience suivante : la station de Hythe était en correspondance avec celle d'Elmers End, soit une distance de 58 milles. En même temps on fit fonctionner avec toute sa puissance la station de Douvres, distante de ± 9 milles, afin de produire l'interférence ; et on put travailler sans éprouver de dérangements par la station de Douvres, avec une différence de longueur d'onde de 6 p. 100 seulement.

Dispositif de De Forest. — Le système de la « De Forest Wireless Telegraph C° » est surtout mis en pratique en Amérique. Des stations de grande portée de communication sont entre autres celles qui furent élevées à Cuba et à Porto-Rico ; ces stations sont à 450 milles l'une de l'autre et entre elles se trouve l'île montagneuse de Haïti. Nous avons déjà nommé d'autres stations De Forest, d'un grand rayon d'action : celles de Saint-Louis, Chicago et Kansas City (p. 60).

M. De Forest succéda à Marconi avec ses essais de radio-télégraphie transatlantique. En 1906, la Compagnie De Forest annonça que des télégrammes d'essai ont été lancés d'Amérique en Irlande par sa station de Coney Island et cela chaque nuit pendant un certain temps.

En 1907, dans sa traversée d'Amérique en Europe, le transatlantique *Tagus*, muni d'appareils De Forest, entra après avoir parcouru une distance de 950 kilomètres, dans le rayon d'action de la station Hartland Point et resta en correspondance avec elle jusqu'à son arrivée à Southampton.

Nonobstant la concurrence de la Société Marconi, le système De Forest est appliqué dans quelques parties de l'Angleterre. Ainsi en novembre 1903, on érigea des stations à Holyhead en Angleterre et à Howth en Irlande, séparées à vol d'oiseau par une distance

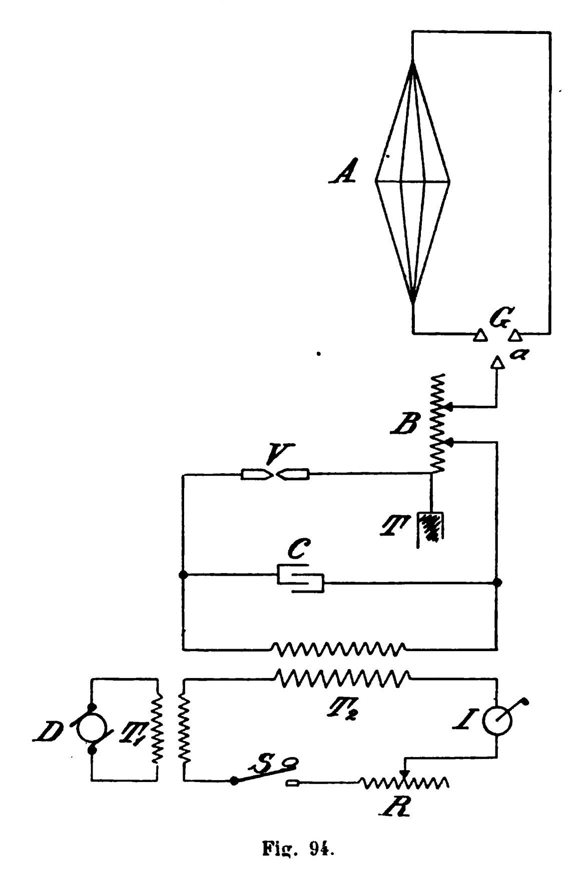


Fig. 94.

de 105 kilomètres, où le système De Forest fut expliqué en présence de délégués du Post Office, du ministère de la Guerre, du ministère de la Marine, etc. Le dispositif de transmission qui fut alors employé est représenté sur la figure 94 ; D est une dynamo à courant alternatif de 1 kilowatt qui avec son excitatrice est mise en mouvement par un moteur à pétrole de 3 chevaux. Le courant alternatif d'une tension de 500 volts est amené au primaire d'un transformateur T_1 ayant un rapport de transformation égal à l'unité ; le seul but de ce transformateur c'est d'éviter que des suréléva-

tions de tension, dues aux décharges statiques ou aux oscillations du circuit transmetteur, n'atteignent les enroulements de la génératrice. Dans d'autres installations M. De Forest se sert de dispositifs plus simples : le transformateur T_1 est supprimé et chaque borne de la dynamo est reliée à une bouteille de Leyde dont l'une des armatures est mise à la terre. Dans le circuit secondaire du transformateur T_1 on a intercalé un interrupteur I, un manipulateur S (p. 162), l'enroulement primaire d'un transformateur T_2 et une résistance R d'une grande self-induction, nommée par M. De Forest : régulateur de réactance, qui sert à éviter la formation d'un arc permanent entre les boules de l'excitateur, lorsque la quantité d'énergie passant dans le circuit devient trop forte ; si l'on remarque que l'arc a tendance à se former on intercale au moyen de R plus de self-induction. Dans le circuit oscillateur on a introduit l'enroulement secondaire du transformateur T_2, qui élève la tension de 500 à 20 000 volts, une bobine B d'une self-induction réglable avec laquelle on peut varier la longueur d'ondes et syntoniser l'antenne, les boules de l'excitateur V et le condensateur C. Les boules de l'excitateur sont des tiges de laiton nickelées de 12,5 mm. de diamètre ; pour les condensateurs on se sert de bouteilles de Leyde. En ce qui concerne l'arrangement de ces bouteilles, M. De Forest trouva que l'efficacité des bouteilles dépendait en grande partie de la position relative entre elles ; il trouva que l'arrangement en forme circulaire devait avoir la préférence et si cela offrait des difficultés pratiques, elles doivent être disposées de façon que les fils de connexion soient aussi courts que possible. Au cours des expériences faites en Angleterre, la batterie comportait 12 jarres réparties en quatre rangées de trois ; les connexions étaient établies de manière à avoir deux séries de 6 jarres montées en tension, les deux séries étant groupées en quantité. En G se trouvent deux intervalles explosifs qui à la transmission peuvent être facilement franchis par une étincelle, de façon que les cinq fils sont groupés en dérivation. A la réception ces intervalles fonctionnent comme isolateurs et comme *a* est relié aux appareils récepteurs, à la réception 4 fils seront montés parallèlement et le cinquième en série avec le groupe des quatre autres.

Comme il s'ensuit du schéma de la réception, les ondes recueillies

par l'antenne passent par les spires de self-induction L, le condensateur C, le responder R (fig. 43) et par le point B à la terre. Sous l'action des ondes la résistance du responder devient très grande et l'intensité du courant qui passe de la batterie E par le téléphone F, subit une variation, qui peut être entendue comme un bruit

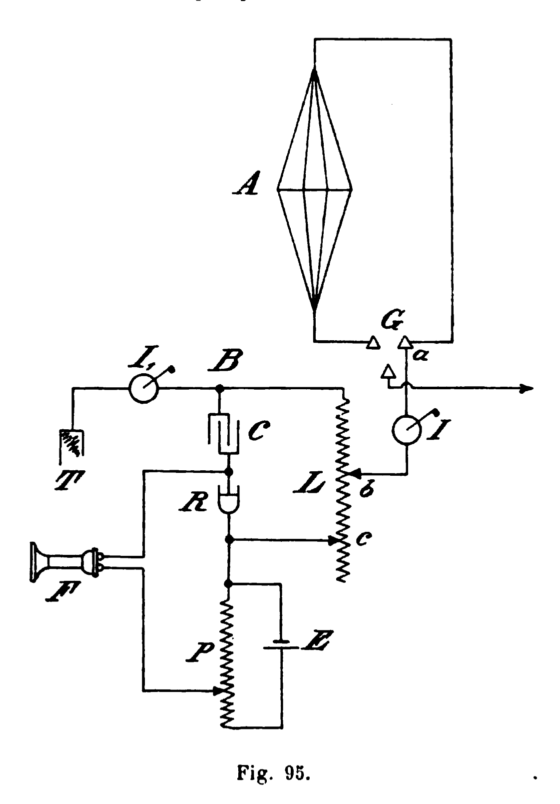


Fig. 95.

clair dans le téléphone. Au moyen du potentiomètre P on peut régler exactement le courant qui passe par le responder. Si l'on engendre dans la station transmettrice une longue série d'étincelles, on remarque dans le téléphone de la station réceptrice une série de bruits successifs en rapport avec un trait de l'alphabet Morse, tandis qu'une série courte correspond à un point. Le circuit récepteur peut être syntonisé sur les ondes à recevoir par le déplacement du contact *c* et par la variation de la capacité du condensateur C, tandis que la syntonisation de l'antenne peut être réalisée par le déplacement du contact *b*.

Cependant, d'après M. De Forest, une syntonisation absolue dans l'état actuel de la télégraphie sans fil n'est pas possible ; il ne prétend pas que ses appareils ne peuvent être influencés par des ondes d'autres stations et que d'autres stations ne peuvent intercepter ses dépêches ; cependant avec le téléphone il est possible de distinguer nettement des ondes de fréquences différentes. Pendant les expériences, on obtint une vitesse de transmission de 25 à 30 mots par minute. Dans l'installation De Forest, mise en service courant entre Hunstanton en Norfolk et Skegness en Lincolnshire, on a atteint une vitesse de communication d'environ 35 mots par minute, en faisant usage d'un récepteur électrolytique et d'un téléphone. Remarquons, par comparaison, que, dans la télégraphie ordinaire, on obtient une vitesse d'environ 20 mots par minute avec l'appareil Morse et de 50 avec l'appareil Hughes. M. Marconi prétend qu'il a déjà réalisé des vitesses de 100 mots à la minute, et le Post Office anglais dit avoir enregistré des signaux bien lisibles, sur une distance de 15 milles et avec une vitesse de 70 mots par minute[1].

Dispositif de Fessenden. — La *National Electric Signalling Company*, système Fessenden, applique une méthode particulière de syntonisation qui a déjà été décrite à la page 108. La fig. 96 représente le schéma d'une station transmettrice; *a* est le dispositif de syntonisation, *g* le manipulateur au moyen duquel une plus ou moins grande partie des fils de syntonisation peut être disposée en dérivation, V les boules de l'excitateur, J la bobine d'induction et A l'antenne multiple. Parallèlement avec V est intercalé un condensateur C et une self-induction réglable L. En *c* et *d* les fils sont reliés au barretter (p. 90) lesquels à la transmission sont mis en court-circuit. Quand on intercale les appareils récepteurs, le commutateur U est placé sur le contact *e* et le courant de la batterie B circule dans le solénoïde S.

Au moyen de ce solénoïde, qui n'est pas indiqué sur la fig. 96, la connexion *cd* est rompue et le barretter est intercalé dans le circuit. La représentation schématique de la station réceptrice est

[1] *Electrical Review*, July 19, 1907, p. 84.

donnée sur la figure 97. La manière dont un autre barretter est intercalé, quand l'un d'eux a été endommagé, est décrite à la page 91.

En dérivation avec le barretter on a monté un téléphone F et une pile E dont la tension à l'aide d'un potentiomètre P peut être modifiée. Quand alors le fil du barretter, sous l'influence d'ondes électriques, obtient une plus grande résistance, cela s'entend comme un bruit dans le téléphone. Pour augmenter le son, M. Fessenden relie au téléphone un contact microphonique M qui est influencé par la membrane du téléphone. Ce contact a été placé dans le circuit primaire d'un transformateur J et dans le secondaire se trouve intercalé un second téléphone F' au moyen duquel les signaux sont reçus. Dans une installation radio-télégraphique créée par M. Fessenden entre New-York et Philadelphie, celui-ci fit cette expérience particulière que, quand des ondes intenses étaient rayonnées en même temps d'autres stations, ses propres dépêches arrivaient mieux lorsqu'il affaiblissait les ondes émises de sa station. M. Fessenden essaye d'expliquer cela, en remarquant que deux sons sont nettement à distinguer dans un téléphone, quand il y a une grande différence d'intensité.

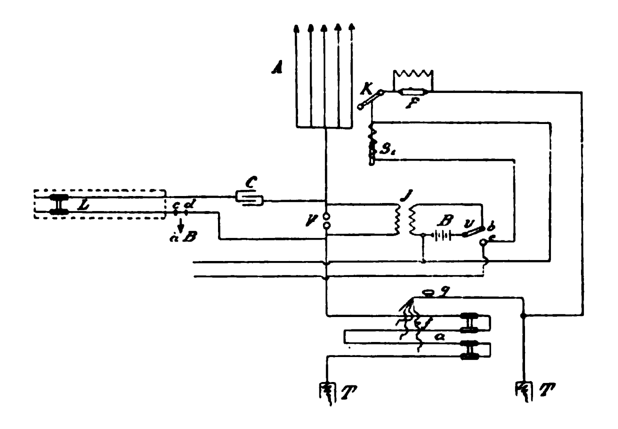


Fig. 96.

Nous devons encore indiquer un aménagement (fig. 96) avec lequel M. Fessenden protège le barretter contre les décharges atmosphériques. Cet aménagement qui, comme le montre la figure,

est mis hors du circuit à la transmission, consiste principalement en un parafoudre de Varley P. Si le commutateur est placé dans la position de réception (le contact en *e*), un courant de la batterie B passe par le solénoïde S[1], le noyau de fer est attiré et il en résultera qu'un levier K fera contact avec l'antenne A. Le parafoudre consiste en un mince petit tube rempli de limaille d'or et de

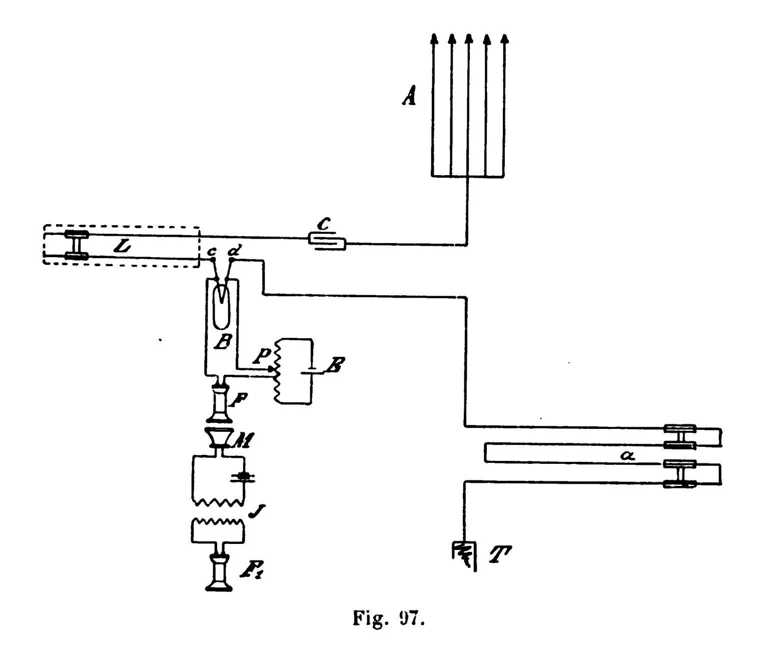


Fig. 97.

bismuth, et pour les électrodes on fait usage d'un alliage de platine et d'iridium. La limaille qui dans son état primitif n'est pas conductrice, la devient sous l'influence de l'électricité atmosphérique et celle-ci pourra s'écouler en terre. L'état normal non conducteur de la limaille doit être obtenu en frappant le petit tube.

Entre le bateau-phare de Cap Hatteras et une station gouvernementale des Indes Occidentales — distance de plus de 1000 milles — on a obtenu dans les deux sens d'excellents résultats avec les dispositifs de M. Fessenden. Comme Marconi et De Forest, Fessenden entreprit également de lancer des radio-télégrammes par-dessus l'Océan Atlantique. Il créa une station à Machrihanish pour laquelle il fit bâtir une tour d'environ 135 mètres de haut. La station correspondante de la côte américaine est située à Brant Rock, au sud

de Boston. De cette dernière station on émit des signaux qui furent clairement reçus dans la première, et lorsque le dispositif transmetteur de la station de Machrihanish fut prêt, on en transmit des télégrammes en langage chiffré de 40 mots, qui furent reçus sans faute de l'autre côté de l'Océan. Cependant on n'obtint pas toujours des résultats favorables, et on décida d'augmenter l'énergie transmettrice. Sur ces entrefaites une tempête détruisit la tour de Machrihanish et on était obligé d'interrompre les essais.

CHAPITRE XI

APPLICATIONS DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

La télégraphie sans fil, considérée dans son état de développement actuel, est appliquée en premier lieu pour obtenir des communications entre la côte et les vaisseaux en mer, ce qui amène communication entre les vaisseaux entre eux, et ensuite entre les points où la télégraphie ordinaire offre des difficultés, soit au point de vue financier, soit pour d'autres raisons.

La marine. — La marine fut la première qui comprit les grands avantages qu'elle pouvait retirer de ce nouveau moyen de communication et maintenant les vaisseaux de presque toutes les grandes puissances sont pourvus d'installations de télégraphie sans fil.

Dans la marine *française*, qui déjà de bonne heure fit des expériences, on nomma une commission sous la présidence de M. le capitaine de vaisseau Arago; cette commission put disposer de trois stations côtières : Port-Vendres, Agde et Porquerolles, situées sur la côte de la Méditerranée. On pouvait échanger des dépêches entre ces stations et de même avec les vaisseaux de guerre, où l'on atteignit une distance de communication de 300 kilomètres. La station de Porquerolles avec son équipement actuel a échangé des messages avec la station de Poldhu, sur une distance de plus de 2000 kilomètres. On a appliqué ici les appareils Rochefort qui sont également en usage à bord des escadres françaises.

Le système Marconi fut appliqué par la marine *anglaise* et c'est le Lloyd anglais qui, en 1901, conclut un traité avec la Société

Marconi, de façon que les appareils Marconi sont établis sur les navires du N. D. Lloyd, de la Hamburg-America-Linie, de la Compagnie Transatlantique française, de la Cunard-Line, de la American Line, de la White Star Line, etc. Par ce traité, signé pour quatorze ans, le Lloyd s'obligea de ne se servir dans ses stations côtières que des appareils Marconi et de ne pas échanger de messages avec les bateaux pourvus d'autres appareils que ceux de Marconi.

Déjà avant cette époque, l'Amirauté anglaise avait passé un traité avec la Société Marconi, pour l'installation de 32 stations de télégraphie sans fil à établir en partie sur des vaisseaux de guerre et en partie sur la côte.

On stipula dans ce traité qu'excepté en cas de guerre ou de circonstances particulièrement pressantes, ces stations ne pouvaient pas correspondre avec celles du département de la guerre qui font usage d'un autre système que celui de Marconi.

En 1899, la marine des *États-Unis d'Amérique* fit des expériences sous la direction personnelle de M. Marconi, où l'on ne put se servir de nouveaux appareils qui existaient à cette époque, mais on obtint cependant, en général, de bons résultats.

En 1906 le département de la marine a pris possession de quelques stations installées d'après le système De Forest et en a créé quelques nouvelles, de sorte qu'avec celles qui existaient déjà, on compléta ainsi la chaîne des stations gouvernementales le long de la côte de l'Océan Atlantique. Trois de ces stations ont un rayon d'action de 1 850 kilomètres, les autres de 800 kilomètres et au-dessous. Toute la côte du Grand Océan Pacifique aussi sera bientôt pourvue par la marine de stations radiotélégraphiques. Ces stations, distantes l'une de l'autre de 200 à 300 kilomètres seront ouvertes jour et nuit et offriront aux bateaux sur mer l'occasion d'entrer en communication avec le continent. Remarquons que sur les escadres de la marine de guerre on a appliqué le système Telefunken.

Sur la flotte *allemande* et dans tous les postes de sémaphores il fut décidé en 1902 par l'empereur d'Allemagne, que le système Slaby-Arco serait exclusivement appliqué.

L'exemple de l'empereur d'Allemagne fut suivi par le tsar de

Russie qui ordonna que tous les vaisseaux de guerre russes devaient être pourvus d'appareils de télégraphie sans fil, système Popoff. De cette façon, dans la guerre entre le Japon et la Russie, l'amiral russe put rester en correspondance régulière, non seulement avec les diverses parties de son escadre, mais aussi avec l'armée de terre.

Depuis 1896, la marine *japonaise* a fait des expériences diverses qui eurent pour résultat que dans ce pays on trouva un système particulier qui diffère beaucoup de ceux employés dans les autres pays et avec lequel on semble avoir obtenu d'excellents résultats.

Après le succès que M. Marconi obtint en 1897 à la Spezzia (Italie) la marine *italienne* pourvut ses principaux vaisseaux et ses postes de sémaphores de dispositifs Marconi. La portée de communication de ces premiers dispositifs était peu de chose; M. le capitaine italien Bonomo, après des études suivies, arriva à agrandir le rayon d'action et la vitesse de transmission des appareils Marconi. Il remplaça les cohéreurs employés jusqu'alors par ceux de Castelli (fig. 33) et en recevant les signaux au téléphone, il réussit à atteindre une distance de communication de 300 kilomètres. Il apporta de grands soins à une isolation parfaite de l'antenne, des bobines d'induction et des autres appareils.

L'armée. — Dans l'armée, la télégraphie sans fil a également une grande importance; la construction de lignes, qui prend tant de temps, n'est pas nécessaire et en employant des stations mobiles il est possible d'établir une communication en quelques minutes. Dans une guerre moderne où de grands corps de troupes doivent être déplacés rapidement et où le commandement est entre les mains d'un seul, une communication sûre et certaine devient une exigence nécessaire, c'est pourquoi les armées de différents pays ont des postes mobiles.

Les stations mobiles qui sont par exemple fabriquées par la Gesellschaft für drahtlose Telegraphie consistent en deux voitures à deux roues qui peuvent prendre un attelage de deux ou de quatre chevaux. Comme il vaut mieux être indépendant d'accumulateurs, le courant est engendré dans une des voitures qui est pourvue d'une dynamo à courant alternatif de 2,5 kilowatts

attaquée directement par un moteur à pétrole de 4 chevaux. Pour le moteur on fait usage d'un allumage électrique pour lequel le courant est fourni par des accumulateurs qui sont chargés au moyen d'une dynamo à courant continu, qui sert en même temps d'excitatrice pour la génératrice. La seconde voiture portant les appareils transmetteur et récepteur a été partagée en deux parties; dans la première on a monté une bobine de Ruhmkorff, des bouteilles de Leyde et un transformateur, dans l'autre partie deux appareils de réception, dont l'un de réserve, un manipulateur et un appareil enregistreur Morse. Un appareil récepteur, avec lequel on peut recevoir les signaux au son, y est monté aussi. Comme la transmission est affaiblie dans les terrains accidentés, l'antenne est élevée à l'aide d'un petit ballon captif ou, lorsque le vent est favorable, au moyen d'un cerf-volant. Comme il est quelquefois difficile de trouver une bonne terre on se sert d'un réseau en fil de fer qui est enterré; de cette façon on prévient aussi l'influence de l'électricité atmosphérique à la station réceptrice.

Dans les stations mobiles d'une autre construction de la même Société, pour la fixation de l'antenne, on emploie trois mâts formés avec des tubes d'acier qui s'emboîtent les uns dans les autres comme un télescope. Entre les mâts dressés et assujettis dans le sol, on tend, comme antenne, des câbles formés de fils en cuivre étamé; ces câbles sont fixés aux mâts par des mousquetons en laiton et portés par des isolateurs en verre. Comme source d'énergie, on utilise une petite dynamo dite à pédales. Cette dynamo est une machine à courant continu sous 100 volts, d'un poids de 30 kilogrammes, qui se loge dans un bâti ayant la forme d'une bicyclette. Le bâti en question est pourvu d'un siège, sur lequel prend place l'homme chargé de maintenir la machine en mouvement en actionnant les pédales. A la dynamo, il est possible de substituer une batterie d'accumulateurs composée de 8 éléments et ayant une capacité de 30 ampères-heure. Ces éléments sont logés dans des bacs en ébonite, répartis dans deux caisses en bois qui pèsent chacune 30 kilogrammes. Le poids d'une pareille station, qui a une portée de 25 kilomètres, est de 200 kilogrammes si on emploie une dynamo à pédales et de 230 kilogrammes si on fait usage d'une batterie. Dans le premier cas, dix hommes sont

nécessaires pour transporter une station mobile, dans le second cas, onze.

L'armée *française*, en 1899, commença à faire des expériences avec la télégraphie sans fil dont nous avons déjà indiqué quelques particularités (p. 64). Les distances de communication obtenues à cette époque étaient encore petites, mais par le perfectionnement des appareils, ces distances devinrent beaucoup plus grandes. C'est ainsi qu'en 1903 on put obtenir une bonne correspondance entre Menton et Belfort, que sépare une distance de 375 kilomètres, à l'aide de longues antennes portées par des ballons.

MM. Lodge et Muirhead ont aussi construit des appareils portatifs pour l'armée ; ces appareils furent employés lors des dernières grandes manœuvres de l'armée *anglaise*.

D'après M. Lodge, une bonne syntonisation entre le circuit récepteur et transmetteur a une plus grande importance que la hauteur de l'antenne et selon lui, attacher une antenne à un ballon ou à un cerf-volant, offre des difficultés pour obtenir une bonne syntonie. C'est pourquoi M. Lodge fait usage d'une antenne d'une hauteur de ± 14 mètres; pour la prise de terre il se sert dans les stations mobiles d'un réseau de fils métalliques ou de plaques de cuivre qui sont reliées entre elles.

Dans les manœuvres en *Allemagne*, en 1903, on employa des appareils de la « Gesellschaft für drahtlose Telegraphie », avec lesquels on prouva que même par le temps le plus défavorable on arrivait à des résultats satisfaisants. Il y avait deux stations fixes et une mobile, qui étaient à la disposition de celui qui menait les opérations. De plus, deux corps d'armée et une division de cavalerie pouvaient disposer de stations mobiles.

L'armée *autrichienne* se servit de ballons dans ses essais de télégraphie sans fil qu'elle fit en 1899 déjà. En 1906 cette même armée fit d'intéressantes expériences entre Pressbourg, Znaïm et Kornenbourg. A Pressbourg se trouvait une station fixe et dans les deux autres endroits des postes mobiles. On ne s'y servit ni de ballons ni de cerfs-volants, mais de mâts de ± 45 mètres de haut. Ces mâts se composaient de différentes parties d'un montage très rapide. Dans ces essais on réussit à échanger de bonnes correspondances entre Pressbourg et Znaïm, distants de 125 kilomètres.

Les autorités *espagnoles* firent aussi des expériences avec ces appareils en présence de S. M. le roi. On érigea une station fixe à Madrid et une mobile à Arevalo où la sierra Guadarrama (hauteur de 2000 mètres) s'élève entre les deux points; dans ces circonstances on obtint encore une bonne communication.

Dans l'armée les stations mobiles doivent satisfaire à beaucoup d'exigences : transport facile, poids aussi minime que possible, grande sûreté de communication, maniement des plus simples possible, etc.

La guerre. — Dans la guerre du Transvaal, la télégraphie sans fil trouva déjà son application; les résultats cependant ne répondirent pas à ce que l'on avait attendu, parce que les dispositions qui avaient été prises n'étaient pas satisfaisantes et parce que les appareils n'avaient pas encore atteint la perfection qu'ils ont aujourd'hui.

On obtint de meilleurs résultats dans la guerre russo-japonaise. Le *Times* avait envoyé un bateau à vapeur muni des appareils du système De Forest. A Wei-Hai-Wei on érigea une station côtière où l'on éleva un mât de 51 mètres de haut, tandis que celui sur le vaisseau était de 30 mètres. Dans les deux postes on avait placé un moteur à pétrole de 2 1/2 chevaux et une dynamo à courant continu de 1 kilowatt. Pour récepteur d'ondes on prit le responder De Forest (fig. 43), tandis que les signaux étaient reçus au téléphone. En mars 1904, le premier radio-télégramme fut transmis et depuis cette époque un service courant fut établi. Le 21 mars dans le *Times* on a pu lire un télégramme de presse de plus de 1 400 mots qui avait été transmis du vapeur à Wei-Hai-Wei et télégraphié à Londres de la manière ordinaire. Le plus grand succès fut qu'un radio-télégramme sur une distance de 150 milles marins fut transmis et reçu nettement dans la station côtière, quoique entre les deux postes il se trouvât une montagne assez grande dont les sommets avaient une hauteur de 60-560 mètres; la plus grande distance de communication qui fut atteinte était de 200 milles marins. Le vaisseau était non seulement en état de communiquer avec la station côtière, mais il pouvait aussi intercepter les télégrammes russes et japonais.

La navigation. — Nous ne dirons plus rien ici de l'importance de la télégraphie sans fil pour la navigation. Nous ferons seulement mention d'une application particulière pour la sécurité des vaisseaux qui se trouvent en mer. La « De Forest Wireless Telegraph C° » a érigé quelques stations qui fonctionnent automatiquement sur les côtes des États-Unis aux passages les plus dangereux; la portée-limite est de 11 kilomètres. Les stations ne sont pas en service courant, mais par temps de tempête ou de brume elles sont mises en action par les gardes. Chaque station a son signal d'avertissement particulier; c'est ainsi que par exemple la station « White Fish Point » transmet les lettres W. F. P. Un vaisseau qui se trouve dans le rayon d'action d'une telle station et muni des appareils récepteurs convenables pourra facilement s'orienter; quand les signaux reçus deviennent plus nets, le vaisseau se rend à la place dangereuse et quand les signaux deviennent plus faibles, il s'éloigne de cette place. Par un dispositif spécial, nommé « locolisator » par M. De Forest, mais qu'il n'a pas décrit, on peut aussi indiquer la direction du vaisseau par rapport à la station côtière.

Des applications du même genre ont été faites en France par M. le capitaine de vaisseau Moritz et en Angleterre par M. Gardner. On emploie un manipulateur automatique avec roues à cames qui produisent des contacts intermittents. Chaque transmetteur automatique possède plusieurs de ces roues à cames, elles sont interchangeables; ces roues ne comportent que le mot ou le signal en Code Morse qu'elles doivent transmettre automatiquement dans l'espace. La roue est mise en mouvement soit par un rouage d'horlogerie, soit par un petit moteur électrique, et comporte alors, par points et par traits, le nom du phare ou du navire ou tel autre mot conventionnel donné par un Code international signalant aux bâtiments en détresse dans le voisinage des côtes ou d'un autre navire qu'ils ne peuvent apercevoir par temps de brume, le nom du phare ou du bateau qu'ils doivent connaître.

Le principal but de la télégraphie sans fil doit être de faciliter les communications des vaisseaux en mer avec la côte, des vaisseaux entre eux et entre les lieux où il a été impossible de poser un câble ; il nous semble qu'il n'est pas dans l'intérêt de la télégraphie sans fil de vouloir franchir de plus grandes distances. Si

les sociétés radio-télégraphiques voulaient prendre une grande partie des dépêches qui sont envoyées en Amérique par les câbles, il serait nécessaire d'ériger plusieurs puissantes stations sur les deux côtes de l'Océan Atlantique. Dans ce moment la question de transmettre des télégrammes à ces grandes distances n'est pas encore tout à fait résolue ; ce problème pourra probablement être résolu par l'augmentation de l'énergie dans les postes transmetteurs ou par d'autres moyens encore. Par suite de l'action simultanée de ces puissantes stations celles-ci se troubleront non seulement entre elles, mais les vaisseaux en mer, pourvus de dispositifs de télégraphie sans fil, auront par là toujours des troubles, de façon que les vaisseaux, pour lesquels la radiotélégraphie a une si grande importance, se verront privés de ce moyen de communication. En entrant en concurrence avec les sociétés de câbles sous-marins, la télégraphie sans fil se ferait tort sur son propre terrain.

Concurrence avec les Sociétés de câbles sous-marins. — Les rapports annuels de ces Sociétés nous prouvent qu'elles ne craignent pas cette concurrence. C'est ainsi que dans l'assemblée générale de la « Telegraph Construction and Maintenance C° », tenue en février 1904, le président répondit à une question qui lui avait été faite sur une concurrence possible de la télégraphie sans fil, que les radiotélégrammes ne pouvaient pas être transmis d'une partie du monde à l'autre avec la même rapidité, la même sûreté et le même maintien du secret que les télégrammes ordinaires.

Le président de la « Eastern Extension Australasia and China Telegraph C° » donna son opinion dans le même sens dans l'assemblée générale de mai 1904. Il ne voyait pas un rival sérieux dans la télégraphie sans fil pour les câbles sous-marins, quoiqu'il attribuât une grande valeur au nouveau mode de communication dans certaines limites et surtout là où la vitesse de transmission et le maintien du secret étaient une quantité négligeable.

L'« Anglo American Telegraph C° » a également donné son opinion sur la concurrence des Sociétés de télégraphie sans fil dans les paroles prononcées par son président à l'assemblée générale

tenue en février 1906. D'après lui la télégraphie par câbles n'a aucune concurrence à craindre de la télégraphie sans fil. Les Sociétés radiotélégraphiques s'occupent bien d'échanger des messages entre les bateaux et entre ces derniers et la côte, mais pour autant qu'il sait, la tentative de transmettre des radiotélégrammes par-dessus l'Océan Atlantique n'a pas été sérieuse.

La « Eastern Telegraph C° » déclare que la télégraphie sans fil peut dans certains cas avoir la préférence sur les câbles sous-marins ; cela appert du rapport d'une conférence de cette Compagnie : le président communiqua que le Portugal demandait que quelques îles des Açores fussent comprises dans le réseau télégraphique. En prenant en considération la nature du sol et la place où le câble doit être atterré, le posage d'un câble sous-marin deviendrait difficile et en outre ne donnerait pas de bénéfices ; pour ces causes la société prit la résolution d'établir une communication par la télégraphie sans fil en combinaison avec le réseau télégraphique ordinaire. La « West India and Panama Telegraph C° » a aussi établi une communication radiotélégraphique — système Lodge-Muirhead — entre quelques îles des Indes Occidentales, où des éruptions volcaniques endommagent souvent les câbles de cette Compagnie.

Dans l'assemblée générale des actionnaires de la « Western Telegraph C° », tenue en octobre 1906, le président déclara qu'il ne voyait pas de raison de revenir sur son opinion prononcée en 1903, à savoir que la télégraphie sans fil pourrait fort bien entrer en concurrence avec les câbles pour les communications à grande distance ; l'expérience des dernières années ne l'a que fortifié dans cette opinion.

Les chiffres suivants confirment également les opinions précédentes. Le réseau total des câbles télégraphiques sous-marins comportait :

En décembre	1887,	148 472	milles marins.
—	1897,	167 077	—
—	1906,	251 132	—

La première Société de radiotélégraphie fut fondée en 1896 (Société Marconi). Or dans les dix années précédentes on a posé

environ 18 605 milles marins de câbles, et dans les neuf années suivantes 84 055 milles, c'est-à-dire environ 4 fois et demi plus.

Les trains de chemins de fer. — La transmission de radiotélégrammes aux trains en marche assurerait aux communications par voie ferrée une bien plus grande sûreté. En 1903 on a fait en Allemagne sur le « Königlich Preussische Militär-Eisenbahn » entre Marienfelde et Zossen des essais radiotélégraphiques[1] pour lesquels on s'est servi du système « Telefunken ». L'antenne fixée sur le toit du wagon à l'aide d'isolateurs de porcelaine, était reliée aux appareils de transmission et de réception installés dans le wagon ; les roues et les rails constituaient la prise de terre. La station terrestre comprenait un fil aérien tendu entre les fils télégraphiques. Les ondes engendrées dans le fil aérien se propageaient par les fils télégraphiques et agissaient inductivement sur l'antenne du train en marche. Le contraire se produit pour les ondes émises par l'antenne du train. Cette installation était en service courant jusqu'en 1905. Depuis ce temps l'administration des chemins de fer de Prusse a fait des essais[2] entre Berlin-Beelitz-Heilstätten qui ont donné également des résultats très satisfaisants, jusqu'à une distance de 12 kilomètres. L'administration des chemins de fer bavarois a aussi appliqué la télégraphie sans fil sur la ligne Münich-Jutzing-Murnau[3]. Il est curieux de noter que la radiotélégraphie ne troublait aucunement les communicationst élégraphiques ordinaires.

En Angleterre on a essayé de transmettre des radiotélégrammes, avec les appareils Lodge-Muirhead, du poste de Spondon près Derby aux trains du « Midland Railway[4] ». L'antenne était également portée par des isolateurs et ne s'élevait guère plus de 40 centimètres au-dessus du toit des wagons. On pouvait recevoir nettement des messages sur des distances d'environ 20 kilomètres dans les différentes vitesses des trains.

Le « Chicago and Alton Railway » en Amérique a définitive-

[1] *Elektrotechn. Zeitschr.*, 1906, S. 906.
[2] *Ibid.*
[3] *Ibid.*
[4] *The Electrical Review*, janv. 12, 1906, p. 65.

ment pourvu des appareils De Forest ses trains rapides entre Chicago et Saint-Louis [1]. Les télégrammes sont clairs et nets même avec une vitesse de 90 kilomètres à l'heure. L'expérience a montré que lorsque le train franchit un pont métallique, les signaux devenaient si faibles qu'on ne pouvait plus les démêler, ils devenaient au contraire plus distincts lorsque le train longeait une rivière. Outre les stations de Chicago et de Saint-Louis, il y a encore un poste à Springfield, qui sont tous trois en correspondance régulière avec les trains qui circulent sur le trajet susdit.

Toutefois avec une ligne à double voie, la grande difficulté, à notre avis, c'est de résoudre le problème d'adresser des signaux à un train circulant sur l'une des voies sans affecter un autre train circulant sur la seconde voie.

[1] *The Electrician*, June 30, 1905, p. 409.

CHAPITRE XII

RÉGLEMENTATION LÉGALE DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Plus les perfectionnements de la télégraphie sans fil augmentèrent, plus les stations devinrent nombreuses et par l'exploitation des installations qui avaient été établies à des distances assez faibles les unes des autres, les troubles ne pouvaient manquer, de façon que la sûreté des communications était sérieusement compromise. Comme il est impossible d'éviter les perturbations réciproques dans l'état actuel de la science, on comprit dans la plupart des pays que dans l'établissement de nouvelles installations, il était nécessaire de prendre des dispositions de façon à empêcher des troubles pour les stations déjà existantes. S'il faut pour certains jugements qu'un corps central en soit chargé, en état de juger impartialement et qui puisse veiller aux intérêts de tous, dans ce cas il va de soi que l'État sera le corps tout désigné. Dans la plupart des pays c'est l'État lui-même qui exploite la télégraphie sans fil, ce qui d'après notre opinion est préférable aux concessions accordées aux particuliers, eu égard à la régularité de fonctionnement, à la bonne manipulation des appareils et aux intérêts du transport.

Allemagne. — Au 1er avril 1905 l'administration des Postes de l'Empire a publié des instructions [1] à l'usage de la radiotélégraphie pour la correspondance privée. Ces instructions règlent le trafic radiotélégraphique entre les stations côtières publiques de l'Alle-

[1] On a renoncé à reproduire ici les instructions complètes, parce que le texte en devait être confronté à la teneur de la Convention radiotélégraphique internationale, avant la mise en vigueur de celle-ci.



magne et les postes radiotélégraphiques qui sont en rapport avec ces établissements. Les postes installés sur les phares flottants ne correspondent en règle générale qu'avec une station côtière déterminée et transmettent :

1° Des radiotélégrammes (de service ou privés) émanant de leur équipage ou adressés à ce dernier ;

2° Des télégrammes qui peuvent leur parvenir des vaisseaux par une voie autre que la radiotélégraphie.

Ces postes ne peuvent correspondre par radiotélégraphie avec les vaisseaux en mer que dans des cas de détresse.

Toutes les stations côtières publiques de l'administration de la marine de l'empire doivent être prêtes, jour et nuit, pour le service radiotélégraphique, sauf dans les cas où elles auraient été fermées par l'autorité supérieure, soit pour des raisons administratives, soit en vue de manœuvres ou d'expériences.

Elles sont disposées :

Pour des ondes électriques d'une longueur de.	365 m.
Pour l'échange de signaux radiotélégraphiques avec d'autres stations de même catégorie, à une portée de.	200 km.
Pour l'échange de signaux radiotélégraphiques avec des postes de vaisseau ayant un mât d'une hauteur de 30 mètres, à (par un temps normal) une portée de	120 km.

Les radiotélégrammes sont transmis dans l'ordre ci-après :

Télégrammes de l'État ;

— de service ;

— privés urgents ;

— privés ordinaires.

Les radiotélégrammes provenant de vaisseaux en détresse ont la priorité sur chacune des catégories qui précèdent, et toute autre communication alors établie doit être interrompue en vue de leur transmission. Dans ce cas, le navire qui demande du secours devra répéter continuellement son signal de détresse, jusqu'à ce que la communication entre les autres stations ait cessé. Si le signal de détresse n'est pas suivi d'un signal d'appel pour une station déterminée, chaque station qui l'entendra devra s'annoncer par son signal d'appel particulier.

Les stations côtières publiques sont chargées de la direction du

service de la correspondance radiotélégraphique avec les postes de navires qui se trouvent dans les limites de la portée de leur transmission.

Pour les radiotélégrammes il est perçu, en sus de la taxe télégraphique ordinaire, un droit maritime additionnel de 80 pfennigs. Ces taxes sont toujours perçues sur l'expéditeur, respectivement sur le destinataire du télégramme à terre.

Autriche. — En Autriche le monopole de la télégraphie sans fil est assuré à l'État par réglementation légale.

Belgique. — Un arrêté royal du 19 septembre 1902 a réglé la correspondance privée entre les postes de télégraphie sans fil établis à Nieuport et sur les paquebots belges de la ligne Ostende-Douvres. En 1904 ce service de communication fut étendu pour les correspondances à échanger soit directement entre ces paquebots, soit avec la Belgique et les pays étrangers, par l'intermédiaire du poste côtier de Nieuport. Le travail n'est autorisé, pour les postes flottants se dirigeant vers Ostende, qu'à partir du bateau-phare *South Goodwin*, indiquant la limite des eaux anglaises; en ce qui concerne les traversées vers Douvres, tout travail doit prendre fin aussitôt que cette limite est atteinte.

Danemark. — D'après l'article premier de la loi concernant la télégraphie sans fil, l'État s'est réservé le droit exclusif d'installation et d'exploitation de la télégraphie sans fil sur terre et sur mer. Toutefois, le paragraphe 4 de la même loi dispose que des essais scientifiques et techniques de radiotélégraphie peuvent être entrepris par des particuliers avec l'autorisation du ministère des Travaux publics.

Espagne. — La législation en Espagne assure seulement à l'administration de la télégraphie l'exploitation de ses lignes télégraphiques, tandis que, en ce qui concerne la télégraphie sans fil, le gouvernement n'a pas fait d'accords, mais il peut accorder à chaque Société autorisation sous les conditions qu'il juge désirables.

Etats-Unis d'Amérique. — En 1904, le Président des États-Unis nomma une commission qui avait pour tâche d'examiner s'il était

nécessaire d'assurer à la télégraphie sans fil le contrôle de l'État. Quoique dans cette même année la commission publiât son rapport, dans lequel on recommanda unanimement qu'un pareil contrôle était très désirable, il n'existe pas encore de dispositions légales dans ce pays, ce qui est remarquable, vu le grand nombre de stations radiotélégraphiques aux États-Unis et les perturbations réciproques qui s'y produisent.

France. — Dans un rapport, adressé en 1903 par le ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes au Président de la République française, on exprima la nécessité que l'administration des postes et des télégraphes soit désignée pour l'exploitation du nouveau système de transmission.

Ce rapport motiva le décret du 7 février 1903 qui stipula que l'administration des postes et des télégraphes était seule chargée de l'établissement et de l'exploitation des postes de télégraphie sans fil, destinés à l'échange de la correspondance officielle ou privée. Toutefois, les divers services de l'État pouvaient, après entente avec l'administration susdite, établir et exploiter directement des postes, destinés exclusivement à la correspondance officielle. Des postes, destinés à l'échange des correspondances d'intérêt privé, pouvaient être établis et exploités par des particuliers, après autorisation donnée par le ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes.

Le ministre de la Marine adressa à son tour au Président de la République un rapport qui devait provoquer le décret du 27 février 1904. On y stipula que le choix des emplacements des postes de télégraphie sans fil à établir sur les côtes devait, dans chaque cas, faire l'objet d'une entente entre l'administration des postes et des télégraphes et l'administration de la marine. Pour les concessions à des particuliers de postes, destinés à l'échange de la correspondance d'intérêt privé, l'autorisation du ministre de la Marine était également nécessaire ; en cas de mobilisation tous les postes de télégraphie sans fil seraient placés, au point de vue de l'exploitation, sous la direction de l'administration de la marine.

Il y avait en outre des indications relatives à la rédaction, à la

taxation, au payement et à la transmission des télégrammes échangés par la télégraphie sans fil entre la côte et les navires en mer, indications que nous nous passerons de reproduire ici, vu que le nouveau décret du 5 mars 1907 va les modifier. Ce décret fut provoqué par un rapport adressé par le ministre des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes au Président de la République française et dans lequel on montra qu'aussi longtemps que la télégraphie sans fil restait en quelque sorte encore une science de laboratoire, l'établissement de postes par les différents départements administratifs n'offrait aucun inconvénient. Cependant, comme les services rendus par la télégraphie sans fil deviennent susceptibles d'une régularité vraiment commerciale, il est nécessaire que le réseau en formation ne soit plus simplement la résultante de nécessités particulières, mais réponde à un plan d'ensemble et à tous les besoins généraux qui sont en cause.

Ce décret du 5 mars 1907, qui abroge les dispositions des décrets déjà cités du 7 février 1903 et du 27 février 1904, est conçu en ces termes :

Article premier

Les stations radiotélégraphiques établies ou à établir sur des emplacements fixes en France, en Algérie et en Tunisie, sont classées en quatre catégories, savoir :

Stations côtières ou intérieures spéciales au service commercial ;

Stations côtières spéciales au service de la marine de guerre ;

Stations spéciales aux communications militaires ;

Stations spéciales au service des phares et balises.

Des stations privées peuvent être, en outre, établies dans certains cas et en vertu d'autorisations temporaires.

Art. 2.

Les stations spéciales au service commercial sont établies, entretenues et exploitées par l'administration des postes et des télégraphes.

Les stations côtières spéciales au service de la marine de guerre sont établies, entretenues et exploitées par le ministère de la Marine.

Les stations spéciales aux communications militaires sont établies, entretenues et exploitées par le ministère de la Guerre.

Les stations spéciales au service des phares et balises sont établies, entretenues et exploitées par les soins du ministère des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes.

En cas de mobilisation, toutes les stations sans exception sont soumises à l'autorité des départements de la marine et de la guerre.

ART. 3.

Le choix de l'emplacement, la détermination de portée d'une station quelconque et, d'une manière générale, les conditions techniques applicables à toute station projetée sont soumis à l'examen d'une commission interministérielle instituée comme il est dit à l'article 4 ci-après. Cette commission a pour mission d'apprécier les desiderata des divers services et d'indiquer aux administrations intéressées dans quelles conditions il lui paraît possible de concilier leurs intérêts respectifs.

ART. 4.

Il est institué, auprès du ministre des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes, une commission technique interministérielle comprenant les membres suivants :

1 président désigné par décret présidentiel et choisi en dehors des administrations intéressées ;

2 représentants techniques du ministère de la Marine ;

2 représentants techniques du ministère de la Guerre ;

1 représentant du ministère des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes (Travaux publics) ;

1 représentant du ministère des Colonies ;

1 représentant du ministère des Affaires étrangères ;

2 représentants de l'administration des postes et des télégraphes ;

1 secrétaire pris dans l'administration des postes et des télégraphes et n'ayant pas voix délibérative.

ART. 5.

Les attributions de la commission technique sont les suivantes :

Examen, à titre consultatif, des emplacements et conditions techniques afférentes à toutes stations destinées à constituer le réseau radiotélégraphique français ;

Examen des réclamations d'ordre technique relatives au fonctionnement des stations françaises formulées soit par des services de l'État, soit par des services privés, soit par des puissances étrangères ;

Institution d'expériences d'intérêt général.

La commission est informée par les soins des administrations intéressées des résultats obtenus à l'aide des divers types d'appareils ou de montages utilisés par les postes en fonctionnement.

ART. 6.

En dehors des périodes de mobilisation, toutes les stations côtières radiotélégraphiques et les stations spéciales au service commercial, à l'exception de celles qui fonctionnent à titre d'essai ou d'exercice, sont ouvertes à la télégraphie privée.



ART. 7.

L'administration des postes et des télégraphes est chargée de centraliser toutes les affaires concernant la perception des taxes et les relations administratives avec les stations étrangères et le bureau international de Berne. Elle vérifie, sur le vu d'états transmis par les stations des administrations intéressées, la perception des taxes appliquées. Elle contrôle l'exécution des règlements internationaux en ce qui concerne les transmissions commerciales dans les postes fixes de la France, de l'Algérie et de la Tunisie et dans les postes établis à bord des navires de commerce.

ART. 8.

Les autorisations d'installation de postes privés sont accordées par l'administration des postes et des télégraphes, sur avis de la commission technique prévue à l'article 4. Ces installations ne peuvent être que temporaires et ne doivent en aucun cas troubler le service des autres stations.

ART. 9.

Les frais d'expériences à exécuter sur la demande de la commission technique sont imputés sur un crédit spécial inscrit au budget de l'administration des postes et des télégraphes.

ART. 10.

Les ministres des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes, de la Guerre, de la Marine, des Colonies et des Affaires étrangères sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

ART. 11.

Les dispositions du décret du 7 février 1903 et du décret du 27 février 1904 sont abrogées.

Grande-Bretagne. — La télégraphie sans fil est réglée en Angleterre par le « Wireless Telegraphy Act 1904 » qui a force de loi sur tout le territoire des Iles Britanniques et sur tous les navires britanniques, aussi longtemps qu'ils seront sur les hautes mers ou dans les eaux territoriales aboutissant à la côte des Iles Britanniques.

L'article 1 de cette loi stipule que personne ne pourra établir un poste quelconque de télégraphie sans fil, ni installer ou mettre en œuvre un appareil quelconque de télégraphie sans fil, en aucun endroit ou à bord d'aucun navire de la Grande-Bretagne, qu'en conformité à la concession qui lui aura été accordée à cet effet par le « Postmaster General », avec l'assentiment de l'Amirauté, du

Conseil de l'armée et du Conseil du commerce. Une telle concession aura la forme et la durée que le « Postmaster General » pourra déterminer ; elle contiendra les termes, conditions et restrictions dans lesquels elle est accordée ; et elle pourra se rapporter à deux ou plusieurs postes, places ou navires. Quiconque établira un poste de télégraphie sans fil sans une concession à cet effet, on installera et mettra en œuvre un appareil quelconque de télégraphie sans fil sans concession à cet effet, se rendra coupable d'un délit et sera passible d'une peine pécuniaire et de la confiscation des appareils.

L'article 2 détermine que, lorsque la personne qui demande une concession fournit au « Postmaster General » une preuve suffisante qu'il veut obtenir une concession dans le seul but de faire des expériences de télégraphie sans fil, cette concession lui sera accordée sous les conditions et restrictions spéciales que le « Postmaster General » jugera convenable de fixer.

On fixa également que la loi serait mise en vigueur jusqu'au 30 septembre 1906. Cependant dans le courant de cette année on décida que la loi serait appliquée, sans modification, jusqu'en décembre 1909.

Au 1er février 1906 le « General Post Office » de la Grande-Bretagne publia des instructions concernant l'échange de radiotélégrammes avec les navires de la marine royale.

Outre quelques indications administratives, ces instructions[1] contiennent ce qui suit :

Si l'expéditeur est informé que le navire est dans le voisinage d'une des stations radiotélégraphiques pour lesquelles les télégrammes privés pour la marine marchande sont maintenant acceptés (savoir : North Foreland, Niton, Lizard, Rosslare, Crookhaven ou Malin Head) et qu'il demande que son télégramme soit transmis à cette station, il devra être fait droit à sa demande conformément à ces instructions.

Si l'expéditeur ne possède pas une telle information, il sera invité à transmettre le télégramme à la station radiotélégraphique Lizard, qui le fera parvenir au navire, si possible.

[1] Voir note, p. 202.

En tout cas, le télégramme ne sera accepté qu'aux risques complets de l'expéditeur, qui sera en outre averti qu'au cas où le télégramme n'atteindrait pas le destinataire, aucune partie du montant payé ne lui sera remboursée.

Les télégrammes en provenance des navires de la marine royale seront transmis par la station radiotélégraphique au bureau télégraphique d'État dont elle dépend et de là à destination exactement de la même manière que les télégrammes reçus des navires de la marine marchande.

Les télégrammes expédiés par un service de l'Amirauté seront exemptés de la taxe conformément aux prescriptions de l'article 135 de l'instruction concernant les télégrammes internes ; ils devront contenir les lettres « O.H.M.S. », qui seront signalées comme indication de service conjointement avec le mot « radio ».

Toute personne désirant consigner un télégramme à transmettre à un navire, soit de la marine royale, soit de la marine marchande, par l'intermédiaire de la station « Long distance » à Poldhu de la Compagnie de télégraphie sans fil Marconi, devra être invitée à conclure, à cet effet, un arrangement préalable avec cette Compagnie.

Entre temps, un accord fut conclu, en date du 11 août 1904, entre le « Postmaster General » d'une part et la « Marconi Wireless Telegraph C° » et la « Marconi International Marine Communication C° » d'autre part, accord qui fut publié en mai 1906 comme décret parlementaire et qui contient, entre autre, ce qui suit :

Pendant une période de quinze ans le « Postmaster General » accordera des facilités pour transmettre, recevoir et remettre des marconigrammes échangés entre les différentes places de l'Amérique du Nord et le Royaume-Uni. Ces facilités, en majeure partie pareilles à celles accordées aux Sociétés de câbles sous-marins, ne seront données que lorsque le « Postmaster General » est convaincu que les Sociétés sont en état de transmettre et de recevoir les télégrammes avec une vitesse et une sûreté raisonnables. Quant aux télégrammes destinés pour le continent européen ou en provenant, ces privilèges furent refusés ; pour l'Italie seulement on pourra faire des exceptions.

On décida en outre par cet accord, que les messages du gouvernement britannique auraient la priorité sur tous les autres et

payeraient demi-taxe. Les Sociétés sont obligées d'exploiter leurs stations de façon à éviter dans la mesure du possible, toute interférence avec d'autres stations radiotélégraphiques et de se conformer en même temps, dans le Royaume-Uni et sur les navires britanniques, aux prescriptions du protocole de la conférence préliminaire de Berlin (p. 214).

L'accord qui se compose de 15 clausules, contient aussi une liste des stations pour la correspondance entre les navires et la côte. Quelques-unes de ces stations, désignées par leur nom, devront être fermées lorsque leur fonctionnement produira de l'interférence avec les stations de l'Amirauté ; dans ce cas, l'Amirauté prendrait les mesures pour arranger le différend à l'amiable.

Colonies autonomes de la Grande-Bretagne. — Dans les colonies autonomes suivantes de la Grande-Bretagne, la télégraphie sans fil est réglée légalement :

Basutoland	Loi de 1903.
Béchuanaland	Loi de 1903.
Cap de Bonne-Espérance. . .	« The Electric Telegraphs Amendment Act 1902 », un complément de la « Electric Telegraph Act » de 1861.
Ceylan	Loi de 1903.
Côte d'Or.	« Wireless Telegraph Ordinance » du 22 septembre 1903.
Guyane anglaise.	« Telegraph Ordinance » du 31 janvier 1903 ; une clause particulière garantit les droits obtenus autrefois par la « West-India and Panama Telegraph Co. »
Honduras britannique	« Ordinance » n° 13 de 1903.
Hong-Kong	« Wireless Telegraph Ordinance » de juillet 1903.
Iles Bahamas	Loi du 11 mai 1903.
La Gambie	« Loi du 19 février 1903 ; les accords passés avant cette date avec des Sociétés de câbles restent valables.
Lagos	Loi du 28 août 1903.
La Jamaïque	« Wireless Telegraph Law » du 12 mars 1903.
Les Bermudes.	Loi du 23 juin 1903.
Les Seychelles.	« Telegraph and Electrical Stations Ordinance » du 22 mai 1903.
Malte.	Loi du 30 juin 1903 ; un complément de l'ancienne loi de 1875.
Maurice.	Loi de 1903.

Natal.	Loi de 1904; un complément du « Telegraphs Act 1901 ».
Nouvelle-Guinée britannique .	« Wireless Telegraphy Ordinance » du 2 novembre 1905.
Nouvelle-Zélande	« Act. n° 11 de 1903.
Sainte-Lucie	Loi de 1903.
Soudan.	« Ordinance » n° 2 de 1906.

Ces réglementations légales sont toutes uniformes en ceci : sans autorisation il n'est pas permis d'établir une installation de télégraphie sans fil et que toute infraction à cette règle fait encourir une peine.

En 1905, le *Canada* promulga également une loi relative à la télégraphie sans fil. L'article 3 de cette loi stipule que personne ne pourra ériger une station radiotélégraphique dans ce pays, à moins qu'il n'ait obtenu à cet effet une autorisation spéciale accordée par le gouverneur, par l'intermédiaire du ministre de la Marine. Cette loi, ainsi que la loi anglaise, favorise l'installation de stations dans le seul but de faire des expériences.

Le gouvernement de *Terre-Neuve* a accordé, en 1906, un monopole à la Société Marconi du Canada. Cette Société doit se charger d'exploiter les stations radiotélégraphiques établies le long de la côte du Labrador et d'édifier les nouvelles stations désirées par le gouvernement. Un traité a été signé pour dix ans; et pendant ce temps, le gouvernement ne pourra pas accorder d'autre autorisation, pas même pour des stations dont le seul but est de faire des expériences.

Hongrie. — En Hongrie, la loi a établi que la télégraphie sans fil est un monopole de l'État.

Italie. — Le gouvernement italien a réglé par une loi de 1906 les communications radiotélégraphiques le long des côtes. Les prescriptions qui en émanent ne s'appliquent qu'aux stations côtières et aux stations de bord pourvues des appareils Marconi ; la raison en est que M. Marconi a reçu le monopole en Italie. Dans son traité, le gouvernement s'est engagé à ne se servir que du système Marconi et de ne correspondre qu'avec des stations pourvues du même système. De là, la réserve sur laquelle a dû se tenir la délégation italienne à la conférence préliminaire de Berlin.

Pays-Bas. — En Hollande, le 1er mars 1904, une nouvelle loi concernant la télégraphie et la téléphonie entra en vigueur; cette loi contient que, pour l'établissement d'installations radiotélégraphiques par d'autres que le gouvernement, il serait exigé une concession accordée par ce dernier.

Par décret royal du 22 décembre 1905, le gouvernement a pris des dispositions concernant le service radiotélégraphique, lesquelles sont entrées en vigueur le 1er janvier 1906. L'un des 56 articles dont se compose cette instruction[1] est conçu en ces termes :

La station Scheveningue-Port est la seule station côtière néerlandaise affectuée au service public. Cette station est autorisée, suivant les dispositions de la présente instruction, à prendre toutes les mesures nécessaires pour la bonne marche de la correspondance télégraphique qui sera échangée, soit entre les stations de l'État, soit entre ou avec toutes les autres stations néerlandaises.

En janvier 1907, un traité a été signé entre la « Holland-Amerika Lijn », la Société Marconi et le gouvernement néerlandais, de sorte que les passagers à bord des bateaux de cette ligne peuvent envoyer des radiotélégrammes via la station côtière de Scheningue et par l'intermédiaire des bureaux télégraphiques néerlandais. Par suite d'un arrangement spécial avec la Société Marconi, tous les bureaux télégraphiques néerlandais acceptent également tous les télégrammes destinés à des stations de bord d'autres nationalités exploitées par la Société Marconi.

Colonies néerlandaises. — Lorsque le budget des Indes fut à l'ordre du jour dans la Seconde Chambre des États Généraux, en décembre 1904, le ministre des Colonies déclara qu'il ne considérait pas la télégraphie sans fil assez mûre pour être comprise dans la télégraphie du gouvernement. C'est pourquoi le ministre, dans les possessions hollandaises où ce nouveau mode de communication est pour ainsi dire indiqué pour le grand nombre d'îles, ne voulait pas faire exploiter la télégraphie sans fil par le gouvernement, mais seulement par des concessionnaires.

[1] Voir note, p. 202.

En 1907, le ministre des Colonies a accordé à une Société particulière l'autorisation d'établir et d'exploiter 38 stations radiotélégraphiques dans les Indes Néerlandaises, au service des communications avec les bateaux en mer. En accordant cette autorisation, le ministre a décidé qu'en dehors des télégrammes de service, on ne pouvait échanger entre ces stations des messages ordinaires que lorsqu'il n'y avait pas de communication télégraphique ou téléphonique du gouvernement. On a imposé, en outre, aux concessionnaires l'obligation de recevoir et de transmettre les télégrammes originaires ou à destination des navires en mer sans distinction des systèmes de télégraphie sans fil employés par ces derniers.

Portugal. — D'après les lois et les règlements en vigueur actuellement dans le Portugal, le service de la télégraphie sans fil doit être exclusivement exécuté par l'État, en ce qui concerne le continent, les Açores et Madère. En ce qui regarde les vastes domaines coloniaux portugais, rien n'a été statué dans les lois du pays.

Russie. — En Russie, la radiotélégraphie est un monopole de l'État; l'établissement et l'exploitation d'installations pour la télégraphie sans fil, dans ce pays, n'est pas accordée à des Sociétés particulières.

Conférence préliminaire de Berlin. — Nous avons déjà dit dans le chapitre précédent, que l'établissement de stations avec une action puissante apporte un obstacle à un bon développement et une forte extension de la télégraphie sans fil; de plus, par ces stations-là, les intérêts des différents pays pourraient subir de sérieux préjudices.

Que l'on se représente le cas où plusieurs vaisseaux, se trouvant dans le rayon d'action d'une même station côtière, voudraient essayer de correspondre avec cette station. Il se produirait une confusion complète d'où il pourrait résulter des inconvénients sérieux.

Il pourrait arriver que pour les vaisseaux en détresse, demandant du secours au moyen de la radiotélégraphie, les dépêches

ne fussent pas reçues, à cause de l'action simultanée d'autres stations.

Ces quelques exemples montrent déjà la nécessité urgente d'une réglementation internationale de la télégraphie sans fil ; le gouvernement allemand en prit l'initiative. Du 3 au 14 août 1903, on tint une conférence préliminaire à Berlin concernant la radiotélégraphie à laquelle participèrent quelques grandes puissances.

Dans le protocole final, signé par les représentants de l'Allemagne, de l'Autriche, de l'Espagne, des États-Unis d'Amérique, de la France, de la Hongrie et de la Russie, se trouvait (article 1er, § 2) cette décision importante :

« Les stations côtières sont tenues de recevoir et de transmettre les télégrammes originaires ou à destination des navires en mer sans distinction des systèmes de télégraphie sans fil employés par ces dernières. »

C'est à propos de cette décision que la délégation de la Grande-Bretagne déposait une déclaration dans laquelle elle disait devoir maintenir une réserve générale. La délégation de l'Italie déposait également une déclaration par laquelle elle exprimait le désir d'ajouter la restriction suivante :

« Pourvu que tous ces systèmes donnent une garantie reconnue d'un bon fonctionnement dans la correspondance réciproque quant à la portée, à la perfection de l'organisation et à la sûreté des communications. »

La délégation de l'Italie ne pouvait pas non plus souscrire à cette décision contenue dans le protocole final :

« Les États contractants rendent publics tous les renseignements techniques de nature à faciliter et à accélérer les communications entre les stations côtières et les navires en mer », parce que dans les conventions conclues avec M. Marconi, le gouvernement s'est engagé à tenir secrets les détails des installations.

Conférence internationale de Berlin. — Le but de la conférence préliminaire était d'élaborer des conclusions qui devaient servir de base à une réglementation internationale. Après un délai de trois ans amené par des événements politiques et autres, le gouvernement allemand a lancé des invitations aux États qui possè-

dent des stations côtières et des stations de bord, en vue d'une conférence internationale qui devait avoir lieu à Berlin le 3 octobre 1906.

Citons le passage suivant du discours d'ouverture tenu par M. Kraetke, secrétaire d'État du département des postes de l'empire d'Allemagne, où est exposé d'une manière claire et éloquente le but de cette conférence :

« Déjà dans un grand nombre de pays, la législation s'est emparée de la matière. Presque partout on est convaincu qu'un moyen de communication si important pour la défense nationale, pour la navigation, pour le commerce et l'industrie, doit être soumis au contrôle de l'État, et dans un assez grand nombre de pays dont la législation n'avait pas, jusqu'à présent, donné des garanties suffisantes, on s'est empressé d'imposer à l'établissement et à l'exploitation des stations radiotélégraphiques l'approbation de l'État. Mais, la propagation des ondes électriques pour la transmission des messages radiotélégraphiques n'est pas limitée par les frontières des États ; chaque onde électrique émise avec la dépense d'énergie nécessaire dépasse ces frontières, que le lieu de destination soit situé en deçà ou au delà. C'est pourquoi la radiotélégraphie plus que tous les autres moyens de communication a, du premier abord, un caractère international qui exige sans doute une réglementation internationale.

« Créer la base d'une telle réglementation, voilà notre tâche difficile en effet, mais fructueuse en même temps pour l'augmentation des relations de trafic entre les nations et pour le progrès de la civilisation. Ainsi, qu'on a réussi à faciliter l'emploi de la télégraphie ordinaire et, dans ces derniers temps, de la téléphonie, sa sœur cadette, en créant des bases internationales, et à les mettre à la disposition de toutes les nations, de même j'espère fermement que par un échange bienveillant de nos idées, nous réussirons à atteindre un but analogue pour la télégraphie sans fil. »

Une Convention radiotélégraphique internationale, un engagement additionnel, un protocole final et un règlement de service furent les fruits des considérations échangées à cette conférence. Eu égard à la grande importance de ces décisions pour le libre

développement des communications radiotélégraphiques, nous les reproduisons ici dans leur entier, sauf quelques instructions administratives du règlement de service.

CONVENTION RADIOTÉLÉGRAPHIQUE INTERNATIONALE

CONCLUE ENTRE

L'Allemagne, les États-Unis d'Amérique, l'Argentine, l'Autriche, la Hongrie, la Belgique, le Brésil, la Bulgarie, le Chili, le Danemark, l'Espagne, la France, la Grande-Bretagne, la Grèce, l'Italie, le Japon, le Mexique, Monaco, la Norvège, les Pays-Bas, la Perse, le Portugal, la Roumanie, la Russie, la Suède, la Turquie et l'Uruguay.

Les soussignés, plénipotentiaires des gouvernements des pays ci-dessus énumérés, s'étant réunis en conférence à Berlin, ont, d'un commun accord, et sous réserve de ratification, arrêté la Convention suivante :

Article premier

Les Hautes Parties contractantes s'engagent à appliquer les dispositions de la présente Convention dans toutes les stations radiotélégraphiques — stations côtières et stations de bord — ouvertes au service de la correspondance publique entre la terre et les navires en mer, qui sont établies ou exploitées par les Parties contractantes.

Elles s'engagent, en outre, à imposer l'observation de ces dispositions aux exploitations privées autorisées, soit à établir ou à exploiter des stations côtières radiotélégraphiques ouvertes au service de la correspondance publique entre la terre et les navires en mer, soit à établir ou à exploiter des stations radiotélégraphiques ouvertes ou non au service de la correspondance publique à bord des navires qui portent leur pavillon.

Art. 2.

Est appelée station côtière toute station radiotélégraphique établie sur terre ferme ou à bord d'un navire ancré à demeure et utilisée pour l'échange de la correspondance avec les navires en mer.

Toute station radiotélégraphique établie sur un navire autre qu'un bateau fixe est appelée station de bord.

Art. 3.

Les stations côtières et les stations de bord sont tenues d'échanger réciproquement les radiotélégrammes sans distinction du système radiotélégraphique adopté par ces stations.

ART. 4.

Nonobstant les dispositions de l'article 3, une station peut être affectée à un service de correspondance publique restreinte déterminé par le but de la correspondance ou par d'autres circonstances indépendantes du système employé.

ART. 5.

Chacune des Hautes Parties contractantes s'engage à faire relier les stations côtières au réseau télégraphique par des fils spéciaux ou, tout au moins, à prendre d'autres mesures assurant un échange rapide entre les stations côtières et le réseau télégraphique.

ART. 6.

Les Hautes Parties contractantes se donnent mutuellement connaissance des noms des stations côtières et des stations de bord visées à l'article premier, ainsi que de toutes les indications propres à faciliter et à accélérer les échanges radiotélégraphiques qui seront spécifiées dans le Règlement.

ART. 7.

Chacune des Hautes Parties contractantes se réserve la faculté de prescrire ou d'admettre que dans les stations visées à l'article premier, indépendamment de l'installation dont les indications sont publiées conformément à l'article 6, d'autres dispositifs soient établis et exploités en vue d'une transmission radiotélégraphique spéciale sans que les détails de ces dispositifs soient publiés.

ART. 8.

L'exploitation des stations radiotélégraphiques est organisée, autant que possible, de manière à ne pas troubler le service d'autres stations de l'espèce.

ART. 9.

Les stations radiotélégraphiques sont obligées d'accepter par priorité absolue les appels de détresse provenant des navires, de répondre de même à ces appels et d'y donner la suite qu'ils comportent.

ART. 10.

La taxe totale des radiotélégrammes comprend :

1° La taxe afférente au parcours maritime, savoir :

a) La « taxe côtière » qui appartient à la station côtière.

b) La « taxe de bord » qui appartient à la station de bord.

2° La taxe pour la transmission sur les lignes du réseau télégraphique calculée d'après les règles générales.

Le taux de la taxe côtière est soumis à l'approbation du gouvernement dont relève la station côtière ; celui de la taxe de bord, à l'approbation du gouvernement dont le navire porte le pavillon.

Chacune de ces deux taxes doit être fixée suivant le tarif par mot pur et simple, avec minimum facultatif de taxe par radiotélégramme, sur la base de la rémunération équitable du travail radiotélégraphique. Chacune d'elles ne peut dépasser un maximum à fixer par les Hautes Parties contractantes.

Toutefois, chacune des Hautes Parties contractantes a la faculté d'autoriser des taxes supérieures à ce maximum dans le cas de stations d'une portée dépassant 800 kilomètres, ou de stations exceptionnellement onéreuses en raison des conditions matérielles de leur installation et de leur exploitation.

Pour les radiotélégrammes originaires ou à destination d'un pays et échangés directement avec les stations côtières de ce pays, les Hautes Parties contractantes se donnent mutuellement connaissance des taxes applicables à la transmission sur les lignes de leurs réseaux télégraphiques. Ces taxes sont celles qui résultent du principe que la station côtière doit être considérée comme station d'origine ou de destination.

ART. 11.

Les dispositions de la présente Convention sont complétées par un règlement qui a la même valeur et entre en vigueur en même temps que la Convention.

Les prescriptions de la présente Convention et du règlement y relatif peuvent être à toute époque modifiées d'un commun accord par les Hautes Parties contractantes. Des conférences de plénipotentiaires ou de simples conférences administratives, selon qu'il s'agira de la Convention ou du règlement, auront lieu périodiquement; chaque conférence fixera elle-même le lieu et l'époque de la réunion suivante.

ART. 12.

Ces conférences sont composées de délégués des gouvernements des pays contractants.

Dans les délibérations, chaque pays dispose d'une seule voix.

Si un gouvernement adhère à la Convention pour ses colonies, possessions ou protectorats, les conférences ultérieures peuvent décider que l'ensemble ou une partie de ces colonies, possessions ou protectorats est considéré comme formant un pays pour l'application de l'alinéa précédent. Toutefois, le nombre des voix dont dispose un gouvernement, y compris ses colonies, possessions ou protectorats, ne peut dépasser six.

ART. 13.

Un Bureau international est chargé de réunir, de coordonner et de publier les renseignements de toute nature relatifs à la radiotélégraphie, d'instruire les demandes de modification à la Convention et au règlement, de faire promulguer les changements adoptés et, en général, de procéder à tous les travaux administratifs dont il serait saisi dans l'intérêt de la radiotélégraphie internationale.

Les frais de cette institution sont supportés par tous les pays contractants.

ART. 14.

Chacune des Hautes Parties contractantes se réserve la faculté de fixer les con-



ditions dans lesquelles elle admet les radiotélégrammes en provenance ou à destination d'une station, soit de bord, soit côtière, qui n'est pas soumise aux dispositions de la présente Convention.

Si un radiotélégramme est admis, les taxes ordinaires doivent lui être appliquées.

Il est donné cours à tout radiotélégramme provenant d'une station de bord et reçu par une station côtière d'un pays contractant ou accepté en transit par l'administration d'un pays contractant.

Il est également donné cours à tout radiotélégramme à destination d'un navire, si l'administration d'un pays contractant en a accepté le dépôt ou si l'administration d'un pays contractant l'a accepté en transit d'un pays non contractant, sous réserve du droit de la station côtière de refuser la transmission à une station de bord relevant d'un pays non contractant.

ART. 15.

Les dispositions des articles 8 et 9 de cette Convention sont également applicables aux installations radiotélégraphiques autres que celles visées à l'article premier.

ART. 16.

Les gouvernements qui n'ont point pris part à la présente Convention sont admis à y adhérer sur leur demande.

Cette adhésion est notifiée par la voie diplomatique à celui des gouvernements contractants au sein duquel la dernière conférence a été tenue et par celui-ci à tous les autres.

Elle emporte de plein droit accession à toutes les clauses de la présente Convention et admission à tous les avantages y stipulés.

ART. 17.

Les dispositions des articles 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12 et 17 de la Convention télégraphique internationale de Saint-Pétersbourg du 10 (22) juillet 1875, sont applicables à la radiotélégraphie internationale.

ART. 18.

En cas de dissentiment entre deux ou plusieurs gouvernements contractants relativement à l'interprétation ou à l'exécution, soit de la présente Convention, soit du règlement prévu par l'article 11, la question en litige peut, d'un commun accord, être soumise à un jugement arbitral. Dans ce cas, chacun des gouvernements en cause en choisit un autre non intéressé dans la question.

La décision des arbitres est prise à la majorité absolue des voix.

En cas de partage des voix, les arbitres choisissent, pour trancher le différend, un autre gouvernement contractant également désintéressé dans le litige. A défaut d'une entente concernant ce choix, chaque arbitre propose un gouvernement contractant désintéressé ; il est tiré au sort entre les gouvernements proposés. Le tirage au sort appartient au gouvernement sur le territoire duquel fonctionne le Bureau international prévu à l'article 13.



ART. 19.

Les Hautes Parties contractantes s'engagent à prendre ou à proposer à leurs législatures respectives les mesures nécessaires pour assurer l'exécution de la présente Convention.

ART. 20.

Les Hautes Parties contractantes se communiqueront les lois qui auraient déjà été rendues ou qui viendraient à l'être dans leurs pays relativement à l'objet de la présente Convention.

ART. 21.

Les Hautes Parties contractantes conservent leur entière liberté relativement aux installations radiotélégraphiques non prévues à l'article premier et, notamment, aux installations navales et militaires, lesquelles restent soumises uniquement aux obligations prévues aux articles 8 et 9 de la présente Convention.

Toutefois, lorsque ces installations font de la correspondance publique, elles se conforment, pour l'exécution de ce service, aux prescriptions du règlement en ce qui concerne le mode de transmission et la comptabilité.

ART. 22.

La présente Convention sera mise à exécution à partir du 1er juillet 1908, et demeurera en vigueur pendant un temps indéterminé et jusqu'à l'expiration d'une année à partir du jour où la dénonciation en sera faite.

La dénonciation ne produit son effet qu'à l'égard du gouvernement au nom duquel elle a été faite. Pour les autres Parties contractantes, la Convention reste en vigueur.

ART. 23.

La présente Convention sera ratifiée et les ratifications en seront déposées à Berlin dans le plus bref délai possible.

En foi de quoi les plénipotentiaires respectifs ont signé la Convention en un exemplaire qui restera déposé aux archives du Gouvernement impérial d'Allemagne et dont une copie sera remise à chaque partie.

Fait à Berlin, le 3 novembre 1906.

(Suivent les signatures.)

ENGAGEMENT ADDITIONNEL

Les soussignés plénipotentiaires des gouvernements de l'*Allemagne*, des *États-Unis d'Amérique*, de l'*Argentine*, de l'*Autriche*, de la *Hongrie*, de la *Belgique*, du *Brésil*, de la *Bulgarie*, du *Chili*, du *Danemark*, de l'*Espagne*, de la *France*, de la *Grèce*, de *Monaco*, de la *Norvège*, des *Pays-Bas*, de la *Roumanie*,



de la *Russie*, de la *Suède*, de la *Turquie*, de l'*Uruguay* s'engagent à appliquer à partir de la date de la mise en vigueur de la Convention les dispositions des articles additionnels suivants :

I

Chaque station de bord visée à l'article premier de la Convention sera tenue d'intercommuniquer avec toute autre station de bord sans distinction du système radiotélégraphique adopté respectivement par ces stations.

II

Les gouvernements qui n'ont pas adhéré à l'article ci-dessus peuvent, à toute époque, faire connaître, en adoptant la procédure indiquée à l'article 16 de la Convention, qu'ils s'engagent à en appliquer les dispositions.

Ceux qui ont adhéré à l'article ci-dessus peuvent, à toute époque, faire connaître, dans les conditions prévues à l'article 22 de la Convention, leur intention de cesser d'en appliquer les dispositions.

III

Le présent engagement sera ratifié et les ratifications en seront déposées à Berlin dans le plus bref délai possible.

En foi de quoi les plénipotentiaires respectifs ont signé le présent engagement en un exemplaire qui restera déposé aux archives du Gouvernement Impérial d'Allemagne et dont une copie sera remise à chaque partie.

Fait à Berlin, le 3 novembre 1906.

(Suivent les signatures.)

PROTOCOLE FINAL

Au moment de procéder à la signature de la Convention arrêtée par la conférence radiotélégraphique internationale de Berlin, les plénipotentiaires soussignés sont convenus de ce qui suit :

I

Les Hautes Parties contractantes conviennent qu'à la Conférence prochaine le nombre des voix dont chaque pays dispose (article 12 de la Convention) sera décidé au début des délibérations de manière que les colonies, possessions ou protectorats, admis à bénéficier de voix puissent exercer leur doit de vote au cours de tous les travaux de cette Conférence.

La décision prise aura un effet immédiat et restera en vigueur jusqu'à sa modification par une Conférence ultérieure.

En ce qui concerne la prochaine Conférence, les demandes tendant à l'admission de nouvelles voix en faveur de colonies, possessions ou protectorats qui auraient adhéré à la Convention seront adressées au Bureau international six mois au moins avant la date de la réunion de cette Conférence. Ces demandes

seront immédiatement notifiées aux autres gouvernements contractants qui pourront, dans un délai de deux mois, à partir de la remise de la notification, formuler des demandes semblables.

II

Chaque gouvernement contractant peut se réserver la faculté de désigner, suivant les circonstances, certaines stations côtières qui seront exemptées de l'obligation, imposée par l'article 3 de la Convention, sous la condition que, dès l'application de cette mesure, il soit ouvert sur son territoire une ou plusieurs stations soumises aux obligations de l'article 3, et assurant le service radiotélégraphique dans la région desservie par les stations exemptées d'une manière satisfaisant aux besoins de la correspondance publique. Les gouvernements qui désirent se réserver cette faculté doivent en donner notification dans la forme prévue au deuxième alinéa de l'article 16 de la Convention, au plus tard trois mois avant la mise en vigueur de la Convention, ou, dans le cas d'adhésions ultérieures, au moment de l'adhésion.

Les pays dont les noms suivent déclarent, dès à présent, qu'ils ne se réserveront pas cette faculté :

Allemagne,	Brésil,	Norvège,
États-Unis d'Amérique,	Bulgarie,	Pays-Bas,
Argentine,	Chili,	Roumanie,
Autriche,	Grèce,	Russie,
Hongrie,	Mexique,	Suède,
Belgique,	Monaco,	Uruguay.

III

Le mode d'exécution des dispositions de l'article précédent dépend du gouvernement qui se sert de la faculté d'exemption ; ce gouvernement a pleine liberté de décider de temps en temps, suivant son propre jugement, combien de stations et quelles stations seront exemptées. Ce gouvernement a la même liberté en ce qui concerne le mode d'exécution de la condition relative à l'ouverture d'autres stations soumises aux obligations de l'article 3 et assurant le service radiotélégraphique dans la région desservie par les stations exemptées d'une manière satisfaisant aux besoins de la correspondance publique.

IV

Il est entendu qu'afin de ne pas entraver les progrès scientifiques, les dispositions de l'article 3 de la Convention n'empêchent pas l'emploi éventuel d'un système radiotélégraphique incapable de communiquer avec d'autres systèmes, pourvu toutefois que cette incapacité soit due à la nature spécifique de ce système et qu'elle ne soit pas l'effet de dispositifs adoptés uniquement en vue d'empêcher l'intercommunication.

V

L'adhésion à la Convention du gouvernement d'un pays ayant des colonies, possessions ou protectorats ne comporte pas l'adhésion de ses colonies, posses-

sions ou protectorats, à moins d'une déclaration à cet effet de la part de ce gouvernement. L'ensemble de ces colonies, possessions et protectorats ou chacun d'eux séparément peut faire l'objet d'une adhésion distincte ou d'une dénonciation distincte dans les conditions prévues aux articles 16 et 22 de la Convention.

Il est entendu que les stations à bord de navires ayant leur port d'attache dans une colonie, possession ou protectorat peuvent être désignées comme relevant de l'autorité de cette colonie, possession ou protectorat.

VI

Il est pris acte de la déclaration suivante :

La délégation italienne en signant la Convention doit toutefois faire la réserve que la Convention ne pourra être ratifiée de la part de l'Italie qu'à la date de l'expiration de ses contrats avec M. Marconi et sa Compagnie, ou à une date plus rapprochée si le Gouvernement du roi d'Italie peut la fixer par des négociations avec M. Marconi et sa Compagnie.

VII

Dans le cas où une ou plusieurs des Hautes Parties contractantes ne ratifieraient pas la Convention, celle-ci n'en sera pas moins valable pour les parties qui l'auront ratifiée.

En foi de quoi, les plénipotentiaires ci-dessous ont dressé le présent Protocole final, qui aura la même force et la même valeur que si ses dispositions étaient insérées dans le texte même de la Convention à laquelle il se rapporte, et ils l'ont signé en un exemplaire qui restera déposé aux archives du Gouvernement impérial d'Allemagne et dont une copie sera remise à chaque partie.

Fait à Berlin, le 3 novembre 1906.

(Suivent les signatures.)

RÈGLEMENT DE SERVICE

ANNEXÉ A LA

CONVENTION RADIOTÉLÉGRAPHIQUE INTERNATIONALE

I. — Organisation des stations radiotélégraphiques

I

Le choix des appareils et des dispositifs radiotélégraphiques à employer par les stations côtières et les stations de bord est libre. L'installation de ces stations doit répondre, autant que possible, aux progrès scientifiques et techniques.



II

Deux longueurs d'onde, l'une de 300 et l'autre de 600 mètres, sont admises pour le service de la correspondance publique générale. Toute station côtière ouverte à ce service utilise l'une ou l'autre de ces deux longueurs d'onde. Pendant toute la durée de son ouverture au service, chaque station doit être en état de recevoir les appels faits au moyen de sa longueur d'onde, et il n'y peut être fait usage d'aucune autre longueur d'onde pour le service de la correspondance publique générale. Toutefois, chaque gouvernement peut autoriser l'emploi dans une station côtière d'autres longueurs d'onde destinées à assurer un service de longue portée ou un service autre que celui de la correspondance publique générale et établi conformément aux dispositions de la Convention, à condition que ces longueurs d'onde ne dépassent pas 600 mètres, ou qu'elles soient supérieures à 1 600 mètres.

III

1. La longueur d'onde normale pour les stations de bord est de 300 mètres. Toute station de bord doit être installée de manière à pouvoir se servir de cette longueur d'onde. D'autres longueurs d'onde peuvent être employées par ces stations à condition de ne pas dépasser 600 mètres.

2. Les navires de faible tonnage qui seraient dans l'impossibilité matérielle de réaliser le dispositif assurant la longueur d'onde de 300 mètres peuvent être autorisés à employer une longueur d'onde inférieure.

IV

1. Il est procédé, par les soins du Bureau international, à l'établissement d'une nomenclature des stations radiotélégraphiques visées à l'article premier de la Convention. Cette nomenclature donne pour chaque station les renseignements suivants :

1° Nom, nationalité et position géographique pour les stations côtières ; nom, nationalité, signal distinctif du Code international et indication du port d'attache du navire pour les stations de bord ;
2° Indicatif d'appel (les indicatifs doivent être différenciés les uns des autres, et chacun doit être formé d'un groupe de trois lettres) ;
3° Portée normale ;
4° Système radiotélégraphique ;
5° Catégorie des appareils récepteurs (appareils écrivants, à réception auditive ou autres) ;
6° Longueurs d'onde utilisées par la station (la longueur d'onde normale est soulignée) ;
7° Nature du service effectué par la station :
Correspondance publique générale ;
Correspondance publique restreinte (correspondance avec les navires... ; correspondance avec les lignes de navigation de... ; correspondance avec les navires munis d'appareils du système..., etc.) ;
Correspondance publique de longue portée ;



Correspondance d'intérêt privé ;

Correspondance spéciale (correspondance exclusivement officielle), etc.

8° Heures d'ouverture ;

9° Taxe côtière ou de bord.

2. Sont compris, en outre, dans la nomenclature, les renseignements relatifs aux stations radiotélégraphiques autres que celles visées à l'article premier de la Convention qui sont communiqués au Bureau international par l'administration dont dépendent ces stations.

V

L'échange de signaux et de mots superflus est interdit aux stations visées à l'article premier de la Convention. Des essais et des exercices ne sont tolérés dans ces stations qu'autant qu'ils ne troublent point le service d'autres stations.

VI

1. Aucune station de bord ne peut être établie ou exploitée par une entreprise privée sans autorisation du gouvernement dont dépend le navire. Cette autorisation fait l'objet d'une licence délivrée par ce gouvernement.

2. Toute station de bord autorisée doit satisfaire aux conditions suivantes :

a) Le système employé doit être un système syntonisé ;

b) La vitesse de transmission et de réception, dans les circonstances normales, ne doit pas être inférieure à 12 mots par minute, le mot étant compté à raison de 5 lettres ;

c) La puissance transmise à l'appareil radiotélégraphique ne doit pas, dans les circonstances normales, dépasser 1 kilowatt. Une puissance supérieure à 1 kilowatt peut être employée si le navire se trouve dans la nécessité de correspondre à une distance de plus de 300 kilomètres de la station côtière la plus rapprochée, ou si, par suite d'obstacles, la communication ne peut être réalisée qu'au moyen d'une augmentation de puissance.

3. Le service de la station de bord doit être assuré par un télégraphiste possesseur d'un certificat délivré par le Gouvernement dont dépend le navire. Ce certificat constate la valeur professionnelle du télégraphiste en ce qui concerne :

a) Le réglage des appareils ;

b) La transmission et la réception auditive à une vitesse qui ne doit pas être inférieure à 20 mots par minute.

c) La connaissance des règlements applicables à l'échange des communications radiotélégraphiques.

4. En outre, le certificat constate que le gouvernement a soumis le télégraphiste à l'obligation du secret des correspondances.

VII

1. Si une administration a connaissance d'une infraction à la Convention ou au règlement commise dans une des stations qu'elle a autorisées, elle constate les faits, et fixe les responsabilités.

En ce qui concerne les stations de bord, si la responsabilité incombe au télégraphiste, l'administration prend les mesures nécessaires, et, le cas échéant, retire le certificat. S'il est constaté que l'infraction résulte de l'état des appareils ou d'instructions données au télégraphiste, il est procédé de même à l'égard de la licence accordée au navire.

2. Dans le cas d'infractions réitérées à la charge du même navire, si les représentations faites à l'administration dont dépend le navire par une autre administration restent sans effet, celle-ci a la faculté, après en avoir donné avis, d'autoriser ses stations côtières à ne pas accepter les communications provenant du navire en cause. En cas de différend entre les deux administrations, la question est soumise à un jugement arbitral à la demande de l'un des gouvernements en cause. La procédure est celle indiquée à l'article 18 de la Convention.

2. — Durée du service des stations côtières

VIII

1. Le service des stations côtières est, autant que possible, permanent, le jour et la nuit, sans interruption.

Toutefois, certaines stations côtières peuvent avoir un service de durée limitée. Chaque administration fixe les heures de service.

2. Les stations côtières dont le service n'est point permanent ne peuvent prendre clôture avant d'avoir transmis tous leurs radiotélégrammes aux navires qui se trouvent dans leur rayon d'action et avant d'avoir reçu de ces navires tous les radiotélégrammes annoncés. Cette disposition est également applicable lorsque des navires signalent leur présence avant la cessation effective du travail.

3. — Rédaction et dépot des radiotélégrammes

IX

Si le parcours d'un radiotélégramme s'effectue en partie sur des lignes télégraphiques ou par des stations radiotélégraphiques relevant d'un gouvernement non contractant, il peut être donné cours à ce radiotélégramme, sous la réserve, tout au moins, que les administrations dont dépendent ces lignes ou ces stations aient déclaré vouloir appliquer, le cas échéant, les dispositions de la Convention et du règlement qui sont indispensables pour l'acheminement régulier des radiotélégrammes et que la comptabilité soit assurée.

X

1. Les radiotélégrammes portent en préambule la mention de service « Radio ».

2. Dans la transmission des radiotélégrammes des stations de bord aux stations côtières, il est fait abstraction, dans le préambule, de la date et de l'heure de dépôt.

A la réexpédition sur le réseau télégraphique, la station côtière inscrit, comme indication du bureau d'origine, son nom suivi de celui du navire et elle donne, comme heure de dépôt, l'heure de réception.

XI

L'adresse des radiotélégrammes destinés aux navires en mer doit être aussi complète que possible. Elle est obligatoirement libellée comme suit :

a) Nom du destinataire avec indication complémentaire, s'il y a lieu ;

b) Nom du navire, tel qu'il figure à la nomenclature, complété par la nationalité et, au besoin, par le signal distinctif du Code international, en cas d'homonymie ;

c) Nom de la station côtière, tel qu'il figure à la nomenclature.

4. — Taxation

XII

La taxe côtière ne peut dépasser 60 centimes par mot, celle de bord 40 centimes par mot.

Un minimum de taxe, qui ne peut dépasser la taxe côtière ou de bord d'un radiotélégramme de dix mots, peut être imposé en ce qui concerne les taxes côtière ou de bord.

XIII

Le pays sur le territoire duquel est établie une station côtière servant d'intermédiaire pour l'échange de radiotélégrammes entre une station de bord et un autre pays est considéré, en ce qui concerne l'application des taxes télégraphiques comme pays de provenance ou de destination de ces radiotélégrammes et non comme pays de transit.

5. — Perception des taxes

XIV

La taxe totale des radiotélégrammes est perçue sur l'expéditeur.

Les stations de bord doivent posséder à cet effet les tarifs utiles. Elles ont toutefois la faculté de se renseigner auprès des stations côtières au sujet de la taxation de radiotélégrammes pour lesquels elles ne possèdent pas toutes les données nécessaires.

6. — Transmission des radiotélégrammes

a. *Signaux de transmission.*

XV

Les signaux employés sont ceux du Code Morse international.

XVI

Les navires en détresse font usage du signal suivant : · · · — — — · · · répété à de courts intervalles.

Dès qu'une station perçoit le signal de détresse, elle doit suspendre toute correspondance et ne la reprendre qu'après avoir acquis la certitude que la communication, motivée par l'appel de secours, est terminée.

Dans le cas où le navire en détresse ajoute à la fin de la série de ses appels de secours l'indicatif d'appel d'une station déterminée, la réponse à l'appel n'appartient qu'à cette dernière station. A défaut de l'indication d'une station déterminée dans l'appel de secours, chaque station qui perçoit cet appel est tenue d'y répondre.

XVII

1° L'indicatif d'appel, suivi des lettres · — — ·   · — ·   — · · · « PRB », signifie que le navire ou la station faisant l'appel désire communiquer avec la station appelée à l'aide du Code international de signaux.

La combinaison des lettres PRB est interdite, comme indication de service, pour tout autre objet que celui indiqué ci-dessus.

2° Les radiotélégrammes peuvent être rédigés à l'aide du Code international de signaux.

Ceux qui sont adressés à une station radiotélégraphique en vue d'une transmission ultérieure ne sont pas traduits par cette station.

b. *Ordre de transmission.*

XVIII

Entre deux stations, les radiotélégrammes de même rang sont transmis isolément dans l'ordre alternatif ou par séries de plusieurs radiotélégrammes suivant l'indication de la station côtière, à la condition que la durée de la transmission de chaque série ne dépasse pas vingt minutes.

c. *Appel des stations radiotélégraphiques et transmission des radiotélégrammes.*

XIX

1° En règle générale, c'est la station de bord qui appelle la station côtière.

2° L'appel ne peut être fait, en règle générale, que lorsque le navire se trouve à une distance de la station côtière inférieure à 75 p. 100 de la portée normale de cette dernière.

3° Avant de procéder à un appel, la station de bord doit régler le plus sensiblement possible son système récepteur et s'assurer que la station côtière qu'elle veut appeler n'est pas en communication. Si elle constate qu'une transmission est en cours, elle attend la première suspension.

4° La station de bord fait emploi, pour l'appel, de l'onde normale de la station côtière.

5° Si, malgré ces précautions, un échange radiotélégraphique public est entravé, l'appel doit cesser à la première demande d'une station côtière ouverte à la correspondance publique. Cette station doit alors indiquer la durée approximative de l'attente.

XX

1° L'appel comporte le signal — · — · —, l'indicatif répété trois fois de la station appelée, le mot « de » suivi de l'indicatif de la station expéditrice répété trois fois.

2° La station appelée répond en donnant le signal — · — · —, suivi de l'indicatif répété trois fois de la station correspondante, du mot « de », de son indicatif et du signal — · —.

XXI

Si une station appelée ne répond pas à la suite de l'appel (article xx) répété trois fois à des intervalles de deux minutes, l'appel ne peut être repris qu'après un intervalle d'une demi-heure, la station faisant l'appel s'étant d'abord assurée qu'aucune communication radiotélégraphique n'est en cours.

XXII

1° Aussitôt que la station côtière a répondu, la station de bord fait connaître :

a) la distance du navire à la station côtière en milles nautiques ;
b) le relèvement vrai en degrés comptés de 0 à 360 ;
c) la route vraie en degrés comptés de 0 à 360 ;
d) la vitesse en milles nautiques ;
e) le nombre de mots qu'elle a à transmettre.

2° La station côtière répond en indiquant le nombre de mots à transmettre navire.

3° Si la transmission ne peut avoir lieu immédiatement, la station côtière fait connaître à la station de bord la durée approximative de l'attente.

XXIII

Lorsqu'une station côtière est saisie d'appels provenant de plusieurs stations de bord, la station côtière décide de l'ordre dans lequel les stations de bord seront admises à échanger leurs correspondances.

Pour régler cet ordre, la station côtière s'inspire uniquement de la nécessité de permettre à toute station intéressée d'échanger le plus grand nombre possible de radiotélégrammes.

XXIV

Avant de commencer l'échange de la correspondance, la station côtière fait connaître à la station de bord si la transmission doit s'effectuer dans l'ordre

alternatif ou par séries (article XVIII) ; elle commence ensuite la transmission ou fait suivre ces indications du signal — · — (invitation à transmettre).

XXV

La transmission du radiotélégramme est précédée du signal — · — · — et terminée par le signal · — · — · suivi de l'indicatif de la station expéditrice.

XXVI

Lorsque le radiotélégramme à transmettre contient plus de 40 mots, la station expéditrice interrompt la transmission après chaque série de 20 mots environ par un point d'interrogation · · — — · · et elle ne reprend la transmission qu'après avoir obtenu de la station correspondante la répétition du dernier mot bien reçu suivi d'un point d'interrogation.

Dans le cas de transmission par séries, l'accusé de réception est donné après chaque radiotélégramme.

XXVII

1. Lorsque les signaux deviennent douteux, il importe d'avoir recours à toutes les ressources possibles pour l'achèvement de la transmission. A cet effet, le radiotélégramme est répété, à la demande de la station réceptrice, sans toutefois dépasser trois répétitions. Si, malgré cette triple transmission, les signaux sont toujours illisibles, le radiotélégramme est annulé. Si l'accusé de réception n'est pas reçu, la station transmettrice appelle de nouveau la station correspondante. Si aucune réponse n'est faite après trois appels, la transmission n'est pas poursuivie.

2. Si la station réceptrice juge que, malgré une réception défectueuse, le radiotélégramme peut être remis, elle inscrit la mention de service : « Réception douteuse » à la fin du préambule et donne cours au radiotélégramme.

XXVIII

Toutes les stations sont tenues d'échanger le trafic avec le minimum de dépense d'énergie nécessaire pour assurer une bonne communication.

d. *Accusé de réception et fin du travail.*

XXIX

1. L'accusé de réception se donne dans la forme prescrite par le règlement télégraphique international précédé de l'indicatif de la station transmettrice et suivi de l'indicatif de la station réceptrice.

2. La fin du travail entre deux stations est indiquée par chaque station au moyen du signal · · · — · — suivi de son indicatif.

e. *Direction à donner aux radiotélégrammes.*

XXX

1. En principe, la station de bord transmet ses radiotélégrammes à la station côtière la plus rapprochée.

2. Toutefois un expéditeur à bord d'un navire a le droit d'indiquer la station côtière par laquelle il désire que son radiotélégramme soit expédié.

La station de bord attend alors jusqu'à ce que cette station côtière soit la plus rapprochée. Si cette condition n'est pas réalisable, il n'est donné satisfaction à l'expéditeur que si la transmission peut s'effectuer sans troubler le service d'autres stations.

7. — Remise des radiotélégrammes a destination

XXXI

Lorsque pour une cause quelconque un radiotélégramme provenant d'un navire en mer ne peut être remis au destinataire, il est émis un avis de non-remise. Cet avis est transmis au navire s'il est possible. Lorsqu'un radiotélégramme parvenu à une station de bord ne peut être remis, cette station en fait part au bureau d'origine par avis de service. Cet avis est transmis, autant que possible, à la station côtière par laquelle a transité le radiotélégramme, ou, le cas échéant, à la station côtière la plus rapprochée.

XXXII

Si le navire auquel est destiné un radiotélégramme n'a pas signalé sa présence à la station côtière dans le délai indiqué par l'expéditeur ou, à défaut d'une telle indication, jusqu'au matin du vingt-neuvième jour suivant, cette station côtière en donne avis à l'expéditeur.

Celui-ci a la faculté de demander par avis de service taxé, télégraphique ou postal, adressé à la station côtière, que son radiotélégramme soit retenu pendant une nouvelle période de trente jours pour être transmis au navire et ainsi de suite. A défaut d'une telle demande, le radiotélégramme est mis au rebut à la fin du trentième jour (jour de dépôt non compris).

Toutefois, si la station côtière a l'assurance que le navire est sorti de son rayon d'action avant qu'elle ait pu lui transmettre le radiotélégramme, cette station en avise l'expéditeur.

8. — Télégrammes spéciaux

XXXIII

Ne sont pas admis :

a) les télégrammes avec réponse payée ;

b) les télégrammes-mandats ;

c) les télégrammes avec collationnement ;

d) les télégrammes avec accusé de réception ;

e) les télégrammes à faire suivre ;

f) les télégrammes de service taxés, sauf en ce qui concerne le parcours sur les lignes du réseau télégraphique ;

g) les télégrammes urgents, sauf en ce qui concerne le parcours sur les lignes



du réseau télégraphique sous réserve de l'application des prescriptions du règlement télégraphique international;

h) les télégrammes à remettre par exprès ou par poste.

9. — Archives

XXXIV

Relatif à l'administration.

10. — Détaxes et remboursements

XXXV

Comme ci-dessus.

11. — Comptabilité

XXXVI

Comme ci-dessus.

12. — Bureau international

XXXVII

Le Bureau international des Administrations télégraphiques sera chargé, sous réserve du consentement du gouvernement de la Confédération suisse et de l'approbation de l'Union télégraphique, des attributions déterminées à l'article 13 de la Convention.

Les alinéas 2 et 3 ont rapport à l'administration.

XXXVIII

Relatif à l'administration.

13. — Dispositions diverses

XXXIX

Les administrations facilitent la communication aux agences d'informations maritimes qu'elles agréent des renseignements concernant les avaries et sinistres maritimes ou présentant un intérêt général pour la navigation dont les stations côtières peuvent régulièrement donner communication.

XL

Les transmissions échangées entre les stations de bord visées à l'article premier de la Convention doivent s'effectuer de manière à ne pas troubler le service des stations côtières, celles-ci devant avoir, en règle générale, le droit de priorité pour la correspondance publique.

XLI

1° A moins d'arrangements spéciaux entre les intéressés, les dispositions du présent règlement sont applicables, par analogie, à l'échange radiotélégraphique entre deux navires en mer, sauf les exceptions suivantes :

a) Article XIV. La taxe de bord revenant au navire transmetteur est perçue sur l'expéditeur et celle revenant au navire récepteur est perçue sur le destinataire ;

b) Article XVIII. L'ordre de transmission est réglé chaque fois de commun accord entre les stations correspondantes ;

c) Article XXXVI. Les taxes des radiotélégrammes en question n'entrent pas dans les comptes prévus à cet article, ces taxes étant acquises aux administrations qui les ont encaissées.

2° La retransmission des radiotélégrammes échangés entre les navires en mer est subordonnée à des arrangements spéciaux entre les intéressés.

XLII

Les dispositions du règlement télégraphique international sont applicables, par analogie, à la correspondance radiotélégraphique en tant qu'elles ne sont pas contraires aux dispositions du présent règlement.

Conformément à l'article 11 de la Convention de Berlin, ce règlement entrera en vigueur le 1er juillet 1908.

En foi de quoi les plénipotentiaires respectifs ont signé le règlement en un exemplaire qui restera déposé aux archives du Gouvernement impérial d'Allemagne et dont une copie sera remise à chaque partie.

Fait à Berlin, le 3 novembre 1906.

(Suivent les signatures.)

A la dernière séance, son Exc. M. Kraetke, président de la Conférence, dont nous avons déjà cité quelques lignes de son discours d'ouverture, prononça les paroles suivantes :

« Bien que la science ait pénétré profondément dans la nature « mystérieuse des ondes électriques, bien que les succès de la « technique, en ce qui concerne l'application de ces ondes, soient « des plus brillants, personne ne connaît aujourd'hui les limites « de la radiotélégraphie. Mais ce qui est incontestable, c'est « qu'elle joue déjà maintenant un rôle très important dans les « échanges internationaux et que son développement va en « croissant avec rapidité ! Vous avez trouvé, Messieurs, une « base pour ce développement, une base sur laquelle les inven- « teurs et les États peuvent continuer à travailler. »

INDEX ALPHABÉTIQUE

R

S

ÉVREUX, IMPRIMERIE CH. HÉRISSEY ET FILS

Traité d'électricité et de magnétisme.

Traité d'électricité et de magnétisme. Système d'unités absolues. Electrostatique. Electrocinétique. Magnétisme. Electromagnétisme. Application de l'Electromagnétisme. Instruments de mesure électrique. Méthodes générales de mesure électrique. Méthodes de mesures spéciales aux lignes électriques. Détermination des unités électriques. Détermination de l'ohm. Cours professé à l'Ecole supérieure de télégraphie, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes. 2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte . . . . 25 fr.

Théorie de l'électricité.

Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 74 figures dans le texte, relié. . . . 20 fr.

Traité pratique d'électricité.

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité, mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par Félix Lucas, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 278 figures dans le texte. . . . . 15 fr.

Électricité industrielle.

Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par Marcel Deprez, membre de l'Institut, professeur d'électricité industrielle au Conservatoire national des arts et métiers, professeur suppléant au Collège de France.

Tome I (contenant les fascicules 1 et 2) : Electricité statique et magnétisme Electrométrie. Magnétométrie. Electro-cinétique. Electro-magnétisme. Electro dynamique. Introduction électromagnétique. 1 vol. grand in-8° avec 205 figures. 24 fr.

Fascicule 3 : Electrométrie, 1 vol. in-8° avec 190 fig. dans le texte . . . 12 fr.

Contrôle des installations électriques.

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. Le courant électrique, production et distribution de l'énergie, mesures, effets dangereux des courants, contrôle à l'usine, contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales, résultats d'exploitation, règlements français et étrangers, par A. Monmerqué, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 2ᵉ édition revue et augmentée. 1 volume in 8° avec 227 figures dans le texte, relié. . . . . . 15 fr.

Canalisations électriques.

Les canalisations électriques, 1ʳᵉ partie. Fonctionnement et calcul des canalisations à courant continu, par Teichmüller, directeur de l'Institut Electrotechnique de Karlsruhe, traduit de l'allemand avec autorisation de l'auteur, par P. Breuil, ingénieur électricien. 1 vol. grand in-8° avec 155 figures dans le texte, relié. 15 fr.

Canalisations électriques.

Essais et vérifications des canalisations électriques en fabrication à la pose et en exploitation, par G. Charpentier, ingénieur-électricien. 1 volume grand in-8° avec 250 figures dans le texte, relié. . . . . 15 fr.

Contrôle des réseaux électriques.

Nouvelle méthode générale de contrôle de l'isolement et de recherche des défauts sur les réseaux électriques pendant le service, par P. Charpentier, ingénieur-électricien. 1 brochure in-8° avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

L'Électricité et ses applications. — Piles électriques.

L'électricité et ses applications, 1ʳᵉ partie. Les piles électriques. Principes généraux d'électricité et de magnétisme. Applications domestiques, industrielles et médicales. Notions de mécanique et de physique. — Production de l'électricité statique. — Influence et condensation. — Machines électrostatique ; leurs effets. — Les piles voltaïques et thermo-électriques. — Effets et lois des courants. — Magnétisme. — Electromagnétisme. — Applications des électro-aimants. — Télégraphie électrique. — Courants d'induction. — Bobine de Rhumkorff. — Les rayons X. —

Téléphone. — Courants de haute fréquence. — Télégraphie sans fil, par A. Rebouд, Licencié es sciences mathématiques, professeur de physique et de chimie. 1 volume in-8° contenant 225 figures dans le texte, relié . . . . 7 fr. 50

L'Électricité et ses applications. — Machines d'induction.

L'électricité et ses applications 2e partie. Les machines d'induction. Production, distribution et utilisation industrielle de l'énergie électrique, par A. Reboud, licencié ès sciences mathématiques et ès sciences physiques. 1 volume in-8° contenant 190 figures dans le texte, relié . . . . 10 fr.

L'Électricité dans l'industrie.

L'électricité dans l'industrie. Rapport présenté à l'Association des anciens élèves des Écoles supérieures de commerce et d'industrie de Rouen, par Raoul Lemoine, ingénieur. 1 volume in-8° avec gravures dans le texte. . . . . 6 fr.

L'Année électrique.

L'année électrique, électrothérapique et radiographique. Revue annuelle des progrès électriques. Electro-chimie, éclairage, chauffage électrique, télégraphie, téléphonie, télégraphie et téléphonie sans fil, traction électrique. L'électricité à la guerre, etc., électrothérapie, radiographie, par Foveau de Courmelles, médecin-électricien. 1 volume in-18. Chaque année. . . . . 3 fr. 50

Cette publication a commencé à paraître en 1900.

Électrolyse.

Electrolyse ; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyen de l'électricité, par Hippolyte Fontaine. 2e édition, 1 volume grand in-8° avec gravures dans le texte, relié . . . . 15 fr.

Électro-chimie.

Traité théorique et pratique d'électro-chimie. Constantes chimiques, mécaniques et électriques. Systèmes électrolytiques. Lois générales de l'électrolyse. Théorie de l'électrolyse. Traitement électrolytique des composés chimiques. Electrolyse appliquée à la chimie organique. Réaction chimique de l'étincelle et de l'effluve électriques, par Adolphe Minet, directeur du journal *l'Electro-Chimie*. 1 volume grand in-8° contenant 206 figures dans le texte, relié. . . . . 18 fr.

Électro-Métallurgie.

Traité théorique et pratique d'électro-métallurgie. Galvanoplastie, analyses électrolytiques, électro-métallurgie par voie humide, méthodes électrolytiques, calcul des conducteurs, chauffage électrique, l'arc voltaïque et charbons électriques, travail électrique des métaux, les fours électriques, électro-métallurgie par voie sèche, méthodes électrolytiques et électro-thermiques, électro-thermie, par Adolphe Minet, directeur du journal *l'Electro-chimie*. 1 volume grand in-8° contenant 205 figures dans le texte, relié . . . . 20 fr.

Dictionnaire électrotechnique.

Dictionnaire électrotechnique Français-Allemand-Anglais, par Paul Blaschke, 3 volumes in-8° . . . . 22 fr. 50

On vend séparément :

Français-Allemand-Anglais, 1 volume. . . . . 7 fr. 50
Allemand-Anglais-Français, 1 volume. . . . . 7 fr. 50
Anglais-Allemand-Français, 1 volume . . . . 7 fr. 50

Rhéostats.

Rhéostats de démarrage et de réglage pour moteurs et générateurs électriques. Théorie. Construction. Montage, par Rudolf Krause, ingénieur, traduit de l'allemand par P. Bénard, ingénieur-électricien. 1 vol. in-8°, 97 fig. dans le texte. Rel. 6 fr.

Essai des machines électriques.

Pratique des essais des machines électriques à courant continu et alternatif. Plancher d'essais. Essais de laboratoire. Essais des machines dynamo à courant continu. Moteurs à courant continu. Essais des moteurs de tramways. Mesure et

transformation de la puissance. Alternateurs. Moteurs synchrones. Commutatrices. Moteurs d'induction. Transformateurs, par E. Duquesne, ingénieur à la Société *Maison Beer*, Jemmeppe-sur-Meuse, et U. Rouvière, ingénieur à la Société Electricité-Hydraulique, Jeumont (Nord). 1 volume in-8° contenant 233 figures dans le texte, relié . . . . 15 fr.

Moteurs pour dynamo.

Moteurs pour dynamo. Moteurs à vapeur. Moteurs hydrauliques. Moteurs à gaz et à pétrole par Ch. Gruet, ingénieur électricien. 1 volume in-12 avec 107 figures dans le texte, relié. . . . . 7 fr. 50

Machines dynamo.

Les machines dynamo-électriques à courant continu et à courants alternatifs, par Gisbert Kapp, traduit de l'allemand par P. Lecler, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-8° avec 200 figures dans le texte, relié. . . . . . . 16 fr.

Machines dynamo à courant continu.

La machine dynamo à courant continu. Théorie, construction, calcul, essais et fonctionnement, par E. Arnold, professeur, directeur de l'Institut électrotechnique à l'école technique supérieure grand-ducale de Karlsruhe, traduction française, par E. Boistel, électricien, expert près les cours et tribunaux, et E.-J. Brunswick, électricien, ingénieur des arts et manufactures.

Tome I. *Théorie de la machine à courant continu.* Production d'un courant. Enroulements, armatures en anneau, armatures en tambour, armatures en disque, armatures à enroulement ouvert, excitation, système inducteur, forces magnétomotrices. Réaction d'induit, commutation, caractéristiques, causes de diminution du rendement. 1 volume in-8° contenant 421 figures dans le texte. Relié . . . 25 fr.

Machines dynamo-électriques.— Enroulements.

Des enroulements et de la construction des induits des machines dynamo-électriques à courants continus. Enroulements fermés, en anneau, en tambour, ouverts. Exécution des enroulements, construction des enduits, par E. Arnold, professeur et directeur de l'Institut électro-technique de Carlsruhe. Traduit de l'allemand par Boy de la Tour, ingénieur. 1 vol. in-8° avec 418 fig. dans le texte et 12 pl. relié. 20 fr.

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par R.-V. Picou, ingénieur des arts et manufactures. 1 vol. gr. in-8° avec 198 fig. dans le texte. 12 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques. Eléments. Principes. Théorie. Induits. Enroulement des induits. Dynamo à courant continu. Dynamos diverses. Alternateurs. Moteurs asynchrones. Transformateurs. Moteurs dynamo. Transmission de l'énergie. Régulateurs. Epreuves de machines. Conduite des dynamos, par Silvanus P. Thompson, traduit par E. Boistel. 3e édition, 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte, relié. . . . . 30 fr.

Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, exposé théorique, calculs, applications pratiques, par Frœlich, traduit de l'allemand par E. Boistel. 1 volume grand in-8° avec 62 figures dans le texte . . . . 10 fr.

Moteurs asynchrones polyphasés.

Méthode pratique pour calculer les moteurs asynchrones polyphasés. Champ tournant, forces électromotrices induites par le champ tournant, couple électromagnétique, actions magnétisantes des enroulements, résistance des bagues du court circuit, des enduits en cage d'écureuil, diagramme de fonctionnement des moteurs polyphasés. Applications pratiques, par Boy de la Tour, ingénieur. 1 volume in-8° contenant 70 figures dans le texte. . . . . 12 fr. 50

Constructions électro-mécaniques.

Constructions électro-mécaniques : recueil d'exemples de construction et de calculs de machines dynamos et appareils électriques industriels, par Gisbert Kapp,

traduit de l'allemand par A.-O. Dubsky et P. Girault, ingénieurs-électriciens. 1 volume in-4° avec 54 figures dans le texte et 25 planches, relié. . . . . . . 30 fr.

Éclairage électrique.

Traité pratique des installations d'éclairage électrique, adaptation française de l'ouvrage de MM. Herzog et Feldmann (*Handbuch der Elektrischen Beleuchtung*) par H. Boy de la Tour, ingénieur, chef du service électrique de la compagnie de Fives-Lille. 1 volume grand in-8° avec 413 figures dans le texte et 5 planches hors texte. Relié. . . . . 25 fr.

Éclairage électrique.

Installations d'éclairage électrique. Manuel pratique. Unités, mesures, compteurs industriels, machines dynamos, accumulateurs, transformateurs, lampes électriques, canalisation, conducteurs aériens, conducteurs souterrains. Appareils auxiliaires, systèmes de distribution, coût des installations. Lois et règlements, par E. Piazzoli, ingénieur civil. Traduit de l'italien par G. Cucurullo et E. A. della Santa, ingénieurs. 1 volume in-8° contenant 264 figures dans le texte et 90 tableaux, relié. . . . . 16 fr.

Éclairage électrique.

Eclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens, par Hippolyte Fontaine. 1 volume in-4° avec 29 planches tirées à part et 32 gravures dans le texte relié . . . . 25 fr.

Éclairage électrique.

Etude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels, par Georges Dumont, avec la collaboration de Gustave Baignières. 1 volume grand in-8° avec 2 planches. . . 5 fr.

Éclairage à Paris.

L'éclairage à Paris. Étude technique des divers modes d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments, les gares, les théâtres, les grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc. ; usines et stations centrales, canalisations et appareils d'éclairage ; organisation administrative et commerciale, rapports des compagnies avec la ville ; traités et conventions, calcul de l'éclairement des voies publiques ; prix de revient, par Henri Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 221 figures dans le texte, relié. . . . . 20 fr.

Éclairage des voitures de Chemins de fer.

Eclairage des voitures de chemins de fer. Huile, pétrole, gaz de houille, gaz d'huile, acétylène, gaz mixte. Electricité, par J. Carlier, ingénieur des mines. 1 volume in-8° contenant 100 figures intercalées dans le texte. . . . . . . 6 fr.

Électricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par Fleeming Jenkin, professeur à l'Université d'Edimbourg ; traduit de l'anglais par N. de Tédesco. 1 volume in-12 avec 32 gravures. . . . . 2 fr.

Courants polyphasés.

Courants polyphasés et alterno-moteurs. Théorie, construction, mode de fonctionnement et qualités des générateurs et des moteurs à courants alternatifs et polyphasés, transformateurs polyphasés et mesure de la puissance dans les systèmes polyphasés, par Sylvanus P. Thompson, directeur du collège technique de Finsbury, à Londres, traduction par E. Boistel, ingénieur-expert près le tribunal de la Seine, 2° édition, 1 volume in-8° contenant 360 figures dans le texte et 12 planches hors texte et en couleurs, relié . . . . 25 fr.

Courants alternatifs.

Eléments du calcul et de la mesure des courants alternatifs, par Omer de Bast, ingénieur. Professeur à L'Ecole industrielle de Liège. 1 volume in-8° contenant 75 figures dans le texte, relié . . . . 7 fr. 50

Courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par T. H. Blakesley, professeur au Royal Naval Collège de Greenwich, traduit de la 3e édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W. C. Rechniewski. 1 vol. in-12, avec fig. dans le texte, relié. 7 fr. 50

Vecteurs rotatoires et alternatifs.

Théorie des vecteurs rotatoires et des vecteurs alternatifs, et sur une application de cette théorie aux moteurs à courants alternatifs, par Galileo Ferraris, professeur à l'Académie royale des Sciences de Turin, traduit par Ed. Francken, ingénieur. 1 brochure in-8o avec figures. 1 fr. 50

Transformateurs.

Les transformateurs à courants alternatifs simples et polyphasés. Théorie, construction, applications, par Gisbert Kapp, traduit de l'allemand par A. O. Dubsky et G. Chenet, ingénieurs-électriciens. 1 volume in-8°, avec 132 figures dans le texte, relié. . . . . 12 fr.

Courant électrique différentiel.

Le courant électrique différentiel, par Emile Mangon. 1 brochure in-8°, avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes les parties de la science, par le Dr Robert Weber, professeur à l'Académie de Neuchâtel, 3e édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte . . . . 6 fr.

Problèmes d'électricité.

Recueil de problèmes d'électricité, par A. Raudot, ingénieur. 1 volume gr. in-8°, contenant de nombreuses figures dans le texte, relié . . . . 8 fr.

Tramways électriques.

Les tramways électriques. Dispositions générales, voie, tramways à conducteurs aériens, souterrains, à contacts superficiels, tramways à accumulateurs, matériel roulant, dépôt, ateliers, production et transformation de l'énergie, exploitation, dépenses, concessions, réglementation, par H. Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées, 2e édition. 1 volume in-8°, avec 188 figures dans le texte . . . 10 fr.

Chemins de fer électriques.

Les chemins de fer électriques. Dispositions générales. Production de l'électricité. Voie. Distribution de l'électricité. Alimentation des lignes. Moteurs. Traction. Automotrices. Locomotives. Chemins de fer divers. Exploitation et dépenses, par Henri Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 516 figures dans le texte. Relié . . . . 25 fr.

Traction électrique.

La traction électrique sur voies ferrées. Types de voie. Exécution des voies. Adaptation des moteurs électriques à la traction sur les voies ferrées. Moteurs de traction. Voitures automobiles. Locomotives électriques. Matériel applicable à des cas spéciaux, services à grande vitesse, monorails, lignes à fortes rampes. Fonctionnement des moteurs de traction à courant continu et à courants alternatifs. Régulation de la vitesse des voitures. Conduite, entretien et essais des moteurs et du matériel roulant. Résistance et traction du matériel roulant électrique. Puissance et énergie électrique consommées sur les voitures et à la station génératrice. Projet de traction. Freinage des voitures électriques. Dépenses d'établissement et d'exploitation des lignes électriques. Conditions de sécurité, réglementation et contrôle technique, par André Blondel et F.-Paul Dubois, ingénieurs des ponts et chaussées. 2 volumes grand in-8°, contenant plus de 1700 pages et 1014 figures dans le texte. Reliés . . . . 50 fr.

Production et distribution de l'énergie électrique.

Production et distribution de l'énergie électrique. Puissance et organisation des stations centrales, chaudières, machines à vapeur. Stations centrales au gaz pauvre.

Stations centrales hydrauliques. Machines électriques employées pour la traction. Machines à courant continu. Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. Sous-stations de transformation. Moyens d'éviter ou de remédier aux accidents de personnes, dépenses d'établissement des stations centrales. Feeders. Lignes aériennes, Trolleys. Montage des lignes aériennes. Parafoudres, appareils accessoires des lignes aériennes. 3e rail. Caniveaux. Contacts superficiels. Retour du courant, par H. Martin, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8°, avec 870 figures dans le texte. Relié . . . . 25 fr.

Distribution d'énergie électrique.

Les distributions d'énergie électrique dans les petites localités, par Richard Berger, ingénieur mécanicien, ingénieur électricien. 1 brochure grand in-8° avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

Transport et distribution de l'énergie.

Transport et distribution de l'énergie par courants continus et alternatifs, description du matériel, calcul des lignes aériennes, par Ch. Gruet, ingénieur électricien. 1 volume in-8° contenant 48 figures dans le texte. Relié. . . . . . . 4 fr.

Accumulateur voltaïque.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par Emile Reynier. 1 volume grand in-8°, avec 62 figures dans le texte et un portrait de M. G. Planté. . 6 fr.

L'accumulateur électrique.

L'accumulateur électrique et ses applications industrielles. Traité pratique à l'usage de l'ingénieur. L'accumulateur au plomb. Appareillage auxiliaire. Applications, par Lamar Lyndon, traduit de l'anglais par Ch. de Vaublanc, ingénieur à la Société française de l'accumulateur Tudor. 1 volume grand in-8° contenant 184 figures dans le texte et 2 planches. Relié . . . . 17 fr. 50

Accumulateur au plomb.

La théorie de l'accumulateur au plomb. Théories de la production du courant. Variation de la force électromotrice. Variation du potentiel. Coefficient de température. Influence de la pression. Allure de charge et de décharge. Réversibilité. Phénomènes du circuit. Résistance intérieure. Capacité, Rendement. Phénomènes de formation. Méthodes de mesure. Table des densités, etc., par le Dr Fr. Dolezalek, traduit de l'allemand par Ch. Liagre. 1 volume in-8° avec 40 figures dans le texte . . . . 8 fr.

Téléphone.

Le téléphone. Théorie. Induction. Transmetteurs à charbons. Téléphones spéciaux. Lignes téléphoniques. Appareils auxiliaires. Stations terminales. Stations intermédiaires. Bureaux centraux français et étrangers. Tableaux commutateurs. Stations téléphoniques publiques. Téléphones multiplex. Application du téléphone au service de la télégraphie. Télégraphie militaire. Applications diverses, par William Henri Preece, électricien en chef du *British Post-Office*, et Julius Maier, docteur ès sciences physiques. 1 vol. grand in-8°, avec 290 gr. dans le texte. 15 fr.

Télégraphie électrique.

Traité de télégraphie électrique. Production du courant électrique. Organes de réception. Premiers appareils. Appareil Morse. Appareils accessoires. Installation des postes. Propriétés électriques des lignes. Lois de la propagation du courant. Essais électriques, recherches des dérangements. Appareils de translation, de décharge et de compensation. Description des principaux appareils et des différents systèmes de transmission. Etablissement des lignes aériennes, souterraines et sous-marines, par H. Thomas, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8°, avec 702 figures dans le texte, relié. . . . . 25 fr.

Télégraphie sous-marine.

Traité de télégraphie sous-marine. Historique. Composition et fabrication des câbles télégraphiques. Immersion et réparation des câbles sous-marins. Essais électriques. Recherche des défauts. Transmission des signaux. Exploitation des lignes sous-marines, par Wunschendorff, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 469 gravures dans le texte . . . . 40 fr.

Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par Paul-F. Chalon, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18 jésus, avec 90 figures dans le texte. Prix relié. 7 fr. 50

Électricité médicale.

Traité théorique et pratique d'électricité médicale. Précis d'électricité. Appareils et instruments électro-médicaux. Applications thérapeutiques, par Félix Lucas et André Lucas. 1 volume in-18 jésus, avec 120 figures dans le texte, relié. . 10 fr.

La télégraphie sans fil.

La télégraphie sans fil. L'œuvre de Marconi, de l'origine aux premières expériences publiques, étapes parcourues jusqu'à ce jour, manière dont les ondes se propagent dans les transmissions à longue distance, côté commercial, par E. Guarini. 1 brochure in-8° avec 88 figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

Installations électriques. Mesures de précaution.

Installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie. Commentaires sur les mesures de précaution prescrites par l'Union des Compagnies allemandes d'Assurance contre l'incendie, par le Dr Oscar May, traduit de l'allemand sous la direction de Ph. Delahaye. 1 brochure grand in-8°, avec 13 figures dans le texte . . . . 1 fr. 50

Charbons électriques.

La fabrication des charbons électriques : cette étude a paru dans les livraisons d'avril et mai 1902 du *Portefeuille des machines*. Prix de ces deux livraisons . . . . 4 fr.

Transmission de force.

N.-B. **— Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.**

Transmission de force par l'électricité appliquée à l'usine de fabrication d'engrais chimiques de P. Linet à Aubervilliers. Livraison de juin 1896. . . . . . . 2 fr.

Distribution d'énergie électrique par la dérivation du Rhône à Jonage avec 2 planches doubles. Livraisons de juillet, août et septembre 1896 des *Annales de la construction* . . . . 6 fr.

Transmission de force par courants diphasés des mines de Sheba (Transvaal), avec une planche. Livraison de décembre 1899. . . . . 2 fr.

Transport de la force par l'électricité. Ponts roulants électriques de la Société internationale d'électricité à Liège avec 6 planches. Livraisons de janvier et février 1900 . . . . 4 fr.

Usine électrique de Bercy, pour la production de l'énergie électrique du chemin de fer métropolitain de Paris, avec 2 planches doubles, livraison de mai 1900 et juin 1904. . . . . 4 fr.

Sous-station électrique du chemin de fer métropolitain de Paris, à la place de l'Étoile, avec 2 planches, livraison de juin 1900. . . . . 2 fr.

Utilisation des chutes d'eau à la production d'énergie électrique, avec 2 planches doubles, livraison de juillet 1901 . . . . 2 fr.

L'énergie hydro électrique, sa production, ses applications. Livraison d'octobre 1904 *des Annales de la construction* . . . . 2 fr.